

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ESTRUCTURA HABITACIONAL SOSTENIBLE
TENIENDO EN CUENTA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA BIM
PARA LA VEREDA DE MOCHUELO BAJO, BOGOTÁ D.C

LUIS CARLOS DUCUARA - 507051
BRAYAN FABIAN MARTIN ALVAREZ - 506790

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ
2021

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ESTRUCTURA HABITACIONAL SOSTENIBLE
TENIENDO EN CUENTA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGIA BIM
PARA LA VEREDA DE MOCHUELO BAJO, BOGOTÁ D.C

LUIS CARLOS DUCUARA - 507051
BRAYAN FABIAN MARTIN ALVAREZ - 506790

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director
ABRAHAM RUIZ VASQUEZ
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ
2021



Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia.](#)

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

CONTENIDO

RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. GENERALIDADES.....	12
1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	12
1.2. LOCALIZACIÓN.....	13
1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.4. OBJETIVOS.....	16
1.4.1. GENERAL.....	16
1.4.2. ESPECIFICOS.....	16
2. MARCO DE REFERENCIA.....	17
2.1. MARCO TEORICO	17
2.2. MARCO CONCEPTUAL	19
2.3. MARCO LEGAL	25
3. ESTADO DEL ARTE	29
3.1. ENERGIA.....	29
3.2. AHORRO DE AGUA	33
3.3. NUEVOS MATERIALES	35
3.4. CUBIERTAS	37
3.5. ABASTECIMIENTO	38
3.6. METODOLOGIA BIM	40
4. ALCANCES Y LIMITACIONES	47
4.1. ALCANCES.....	47
4.2. LIMITACIONES.....	47
5. METODOLOGIA	48
6. RESULTADOS.....	51
7. CONCLUSIONES	79
8. RECOMENDACIONES	81
9. BIBLIOGRAFIA	82
10. LISTADO DE ANEXOS.....	90

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi familia, especialmente a mis tíos Javier, José y Silvia por haberme apoyado en cada uno de mis pasos y brindarme buenos valores, por su amor incondicional y por su motivación constante que permitieron convertirme en la persona que soy. Por último, dedicar este trabajo a mis abuelos Alfredo y Julia que, aunque no se encuentren presentes físicamente siempre vivirán en mi corazón y mis recuerdos.

Finalmente, quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, por el apoyo que brindaron en los momentos que más los necesite, por extender su mano en tiempos difíciles, de corazón mil gracias por todo.

Luis Carlos Ducuara

Este trabajo de grado está dedicado a mi familia, profesores, amigos y compañeros que me ayudaron en largo camino que inicio hace 5 años.

Fabian Martín Álvarez

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos al Ingeniero Abraham Ruiz, nuestro principal colaborador durante todo este proceso, quien con su conocimiento, enseñanza, dirección y colaboración permitió el desarrollo del presente trabajo de grado.

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones del BIM	21
Tabla 2. Información Hidrometeorológica Estación UAN USME	55
Tabla 3. Dotación Neta	56
Tabla 4. Uso Doméstico de Agua Por Porcentajes	56
Tabla 5. Resultados de Demanda y Abastecimiento Mensual	58
Tabla 6. Presupuesto Costo Directo de Modelo 1 y Modelo 2	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama sostenibilidad.....	17
Figura 2. Medidas para reducir el impacto en el medio ambiente.....	19
Figura 3. Niveles de Detalle LOD 0 a LOD 300	24
Figura 4. Niveles de Detalle LOD 400 a LOD 600	24
Figura 5. Etiqueta de eficiencia energética	31
Figura 6. Estado de Implementación del BIM en el mundo.....	41
Figura 7. Experiencia en BIM para Latinoamérica y el Caribe	42
Figura 8. Tipos de uso de la Metodología BIM en Latinoamérica	43
Figura 9. Metodología - Fase de Investigación	48
Figura 10. Metodología - Fase de Diseño.....	50
Figura 11. Sistema de Cimentación del Prototipo	52
Figura 12. Placa de Contrapiso del Prototipo	52
Figura 13. Especificación de Ladrillo del Prototipo	53
Figura 14. Sistema de Muros del Prototipo.....	54
Figura 15. Comparación Demanda Vs Abastecimiento	58
Figura 16. Instalaciones Hidrosanitarias del Prototipo.....	60
Figura 17. Recolección de Agua Lluvia del Prototipo.....	60
Figura 18. Radiación solar en Colombia	61
Figura 19. Radiación solar en Bogotá.....	62
Figura 20. Electrodomésticos en el hogar.....	63
Figura 21. Simulación Consumo de energía	63
Figura 22. Módulo policristalino JKM275PP	64
Figura 23. Ubicación de Paneles Solares del Prototipo	65
Figura 24. Equivalencias LED vs Tradicional.....	66
Figura 25. Resultados de Estudio Solar del Prototipo.....	67
Figura 26. Lamina ACESCO Master 1000	68
Figura 27. Sistema de Muros Combinados del Prototipo (Modelo 2).....	70
Figura 28. Ubicación de Paneles Solares del Prototipo (Modelo 2).....	71
Figura 29. Planta de Tratamiento de Aguas Lluvias	72
Figura 30. Instalaciones Hidrosanitarias y de Agua Lluvia del Prototipo (Modelo 2)	73
Figura 31. Comparación Presupuesto Costo Directo Modelo 1 vs Modelo 2	75
Figura 32. Exportación de Modelo y Visualización Inicial en Navisworks	76
Figura 33. Creación de Conjuntos de Selección en Navisworks.....	77
Figura 34. Articulación de Conjuntos de Selección y Programa de Obra en Navisworks.....	77
Figura 35. Simulación 4D y 5D en Navisworks	78

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de Demanda Mensual	56
Ecuación 2. Abastecimiento Mensual del Sistema de Recolección	57

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se diseñaron dos prototipos de vivienda sostenible para la comunidad de Mochuelo Bajo, Bogotá D.C, teniendo en cuenta tecnologías de ahorro de energía, reutilización de agua, nuevos materiales y criterios de construcción según la normatividad vigente para Colombia.

Los prototipos se desarrollaron teniendo en cuenta la metodología BIM y a partir de la utilización del software Autodesk Revit, Autodesk Navisworks y Microsoft Project se realizaron los planos para la construcción de la vivienda, extracción de cantidades, modelo 3D, programa de construcción, presupuesto y por último la simulación 4D y 5D del prototipo seleccionado para la comunidad.

Dentro de los principales resultados, se observó que las condiciones de la zona permiten satisfacer la demanda de energía durante el día en su totalidad, aproximadamente el 30% de la demanda de agua y se evitó el uso de materiales de alto impacto negativo al medio ambiente tales como concreto y acero de refuerzo en un 50%.

Palabras Clave: Sostenibilidad, metodología BIM, ahorro de energía, reutilización de agua, estabilidad, sismo resistencia, contaminación ambiental.

ABSTRACT

In this research work, two prototypes of sustainable housing were designed for the community of Mochuelo Bajo, Bogotá D.C, taking into account energy saving technologies, water reuse, new materials and construction criteria according to current regulations for Colombia.

The prototypes were developed taking into account the BIM methodology and from the use of Autodesk Revit, Autodesk Navisworks and Microsoft Project software, the plans for the construction of the house, extraction of quantities, 3D model, construction program, budget and for I finalize the 4D and 5D simulation of the prototype selected for the community.

Among the main results, it was observed that the conditions of the area allow to satisfy the energy demand during the day in its entirety, approximately 30% of the water demand and the use of materials with a high negative impact on the environment was avoided, such as concrete and reinforcing steel by 50%.

Keywords: Sustainability, BIM methodology, energy saving, water reuse, stability, earthquake resistance, environmental pollution.

INTRODUCCIÓN

El concepto de sostenibilidad hace referencia principalmente a la búsqueda de nuevas formas de satisfacer las diversas necesidades que tienen los seres humanos considerando no arriesgar la estabilidad de las próximas generaciones en años venideros. Aplicado al sector de la construcción, se busca minimizar el impacto ambiental generado por procesos constructivos tradicionales a través de nuevos materiales y formas de construir que se adapten a las condiciones actuales del mundo.

La comunidad de Mochuelo Bajo de la ciudad de Bogotá D.C, es una zona ubicada al sur de la ciudad que se encuentra cercana al Relleno Sanitario Doña Juana, principal vertedero de basura para la ciudad en mención. Esta comunidad presenta problemas sociales, ambientales, económicos y principalmente un déficit de unidades habitacionales con características básicas.

La concepción de este trabajo de investigación se genera a partir de una visita técnica para validar las condiciones de una estructura existente y posteriormente realizar el diseño de dicha edificación. Sin embargo, se evidenció que la cercanía de esta comunidad con el principal vertedero de basura de la ciudad afectaba la calidad del aire y de vida de los habitantes de la zona, a pesar que el operador del relleno implementa planes de mejora con la participación de la comunidad.

El presente trabajo de grado busca proponer un prototipo de vivienda sostenible que integre tecnologías de aprovechamiento de energía, reutilización de agua, nuevos materiales, teniendo en cuenta la normatividad sismorresistente vigente en Colombia. Lo anterior con la finalidad de plantear una solución habitacional construible y ajustable a las necesidades de la comunidad objeto de estudio, bajo la implementación de la metodología BIM.

El desarrollo del presente trabajo de investigación se fundamenta en la búsqueda de información de la comunidad de Mochuelo Bajo para conocer las características del entorno y así modelar una vivienda acorde a las necesidades de los habitantes. Posteriormente se centró la investigación en temas tales como contaminación ambiental provocada por el sector de la construcción, avance actual de nuevas tecnologías a implementar en el sector, estado de la puesta en marcha en el país de la metodología BIM y la normatividad vigente en el país para el sector de la construcción. Por último, se presentan dos alternativas para la solución habitacional y se realiza la selección de la más adecuada teniendo en cuenta criterios económicos y de constructividad.

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Actualmente el sector de la construcción experimenta constantes cambios acerca de la forma de ejecutar los proyectos y los materiales que se usan para tal fin. Esto se debe a la constante preocupación por parte de los gobiernos de cada país y de las organizaciones ambientales a través de la generación de alertas en donde se menciona que se deben modificar las costumbres que tienen los seres humanos para conservar los recursos naturales y proteger el medio ambiente para futuras generaciones.

En Colombia, el tema de las construcciones sostenibles se ha abordado desde distintos puntos de vista y se ha enfocado a proponer soluciones de vivienda que tengan en cuenta los criterios para que una edificación sea sostenible. Se debe agregar que, el sector de la construcción en el país demanda 72% de energía eléctrica, 40% de materias primas y 14% de agua potable. Así mismo, genera un 30% de desechos y un 49% de manera directa e indirecta de las emisiones de CO₂ que genera el país [1].

En efecto, en la actualidad no se ha podido regular los criterios de sostenibilidad en cada una de las etapas del ciclo de vida de las construcciones, como resultado, es un reto para todas las fases de planeación y desarrollo del territorio, así, por ejemplo, el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) [2].

Ahora bien, debe hallarse, basados en la definición del desarrollo sostenible, un trío de objetivos de manera estratégica en los cuales los proyectos de construcción deben estar apoyados: Medioambiente, donde el respeto a los ecosistemas naturales y sus recursos sean un pilar importante; sociedad, la integración e igualdad social de cada uno de los actores; economía, donde también se debe incluir la economía social de la comunidad [3].

A raíz del crecimiento de la población, se busca promover las construcciones de manera sostenible, donde se debe aprovechar la energía dando prioridad a reducir los consumos, ahorro de agua con la reutilización de la misma y una mejora de la calidad del aire. El desarrollo de estas construcciones genera beneficios para la comunidad, realizando construcciones económica y ambientalmente viables al reducir los posibles impactos que estas puedan generar. De igual modo, el uso de materiales ecológicos que incrementen la vida útil de la edificación dando un mayor aprovechamiento de los recursos [4].

El presente trabajo de grado tiene como objetivo el diseño y simulación constructiva de una solución habitacional que integre parámetros de construcción sostenible a partir de la exploración y aprovechamiento de las herramientas que proporciona la metodología BIM. Este documento tiene como pilares tres conceptos bases: el impacto ambiental generado por el sector construcción, las construcciones sostenibles y la metodología BIM.

El estudio e investigación de estos tres pilares, permite proponer de forma consolidada un proyecto orientado a abrir un espectro de soluciones al problema de vivienda que tiene actualmente la comunidad de Mochuelo Bajo teniendo en cuenta la cercanía con el Relleno Sanitario de Doña Juana. La solución propuesta no solamente radica en proponer un tipo de vivienda convencional, por el contrario, se pretende desarrollar un estudio que integra variables constructivas, ambientales y de confort para brindar una posible solución al problema de la comunidad objeto de estudio.

1.2. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo de grado se encuentra orientado al diseño de un prototipo de vivienda para la comunidad de Mochuelo Bajo, Bogotá D.C

La comunidad de Mochuelo cuenta con un área estimada de 828.54 hectáreas y un 8.62% de participación sobre el suelo rural de la localidad Ciudad Bolívar, limita al norte y al oriente con el área urbana de la localidad, al sur con la vereda de mochuelo alto y al occidente con las veredas de Quiba baja y Quiba alta

Esta comunidad actualmente conformada por 5 barrios, entre los que se encuentran: Barranquitos, La Esmeralda, Lagunitas, Paticos y Vereda, son pertenecientes a la unidad de planeamiento zonal: UPZ 64 Monte Blanco de la localidad de Ciudad Bolívar, además de ser parte de los 3 corregimientos rurales de la localidad.

Mochuelo es considerada una zona altamente vulnerable debido a los impactos generados en el territorio a su alrededor, causados por diversas actividades que a lo largo del tiempo han afectado a sus habitantes entre los que se encuentran:

- ✓ **Problemas Ambientales:** Mochuelo Bajo es un barrio que se encuentra a tan solo 500 m de distancia del Relleno Sanitario Doña Juana (RSDJ), por lo que presenta un serio problema ambiental, a esto se le suma la cantidad de ladrilleras que se encuentran alrededor de la comunidad.

A raíz de esto, en la población existe una gran desconfianza por la calidad del agua y las condiciones del suelo. Los vectores (moscas, roedores y caninos),

los malos olores y la contaminación visual hacen de su diario vivir una constante lucha contra esta problemática ambiental.

- ✓ **Problemas Sociales:** A pesar del compromiso social que mantiene el consorcio CGR Doña Juana (operador actual del RSDJ) generando empleo a los habitantes de la comunidad y apoyando algunos proyectos de emprendimiento social, realmente son pocas las oportunidades de empleo para la cantidad de habitantes en el sector.

A esto se le suma lo retirado que se encuentra el sector del centro de la ciudad y el deficiente servicio de salud con el que cuenta actualmente, lo que no permite que gran parte de la comunidad sea debidamente atendida ante cualquier problema de salud. Además, cuenta con problemas de seguridad (microtráfico) y de asentamientos humanos ilegales los cuales no son debidamente controlados por las autoridades competentes.

- ✓ **Problemas de Obras Civiles:** La comunidad presenta una clara problemática en temas de movilidad, pues su única vía de acceso por la Av. Boyacá se encuentra en mal estado, se puede presenciar fácilmente el desgase y el poco mantenimiento que se le realiza a la carpeta asfáltica de esta. Además, al ser su único acceso, esta vía es propensa a presentar accidentes de tránsito que proporcionen el taponamiento/embotellamiento o de la entrada y/o salida de la comunidad.

Las veredas aledañas a la comunidad presentan un sistema de acueductos deficiente. La red de saneamiento actual no se encuentra diseñada para recolectar toda la cantidad de agua residual generada, sin embargo, se cuenta con una pequeña planta de tratamiento que vierte esta agua residual tratada a una quebrada [5].

1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el sector de la construcción durante la última década, se ha evidenciado una preocupación acerca de los procesos de fabricación de los materiales y la forma en la cual las edificaciones que ya cumplen su periodo de vida útil deben ser demolidas para dar paso a nuevos inmuebles.

Existen estudios que indican que la operación y construcción de edificaciones son responsables de un 30-40% de utilización de energía, 12-16% de uso de agua, 40% de los materiales extraídos para fabricación de otros materiales y un 20-30% de la generación de gases de efecto invernadero que tienen un impacto directo sobre el medio ambiente [6].

Además de la preocupación por parte de las autoridades ambientales en Colombia acerca del impacto que genera la construcción tradicional de vivienda en el país, existe un inconveniente aun mayor, el cual no se ha solucionado en la mayor parte del territorio.

En el país, se evidencia un déficit de vivienda en gran magnitud, aproximadamente en dos millones de unidades habitacionales debido a que el 60% de la población promedio no cuenta con los recursos para adquirir una vivienda, además de incluir dentro de la raíz del problema, la ausencia de políticas públicas que contribuyen a que el acceso a una vivienda digna sea difícil de obtener [7].

Para contrarrestar este problema que se ha generado a través de los años, existen organizaciones internacionales y nacionales dedicadas a la promoción de viviendas sostenibles y han establecido metodologías enfocadas al mejoramiento de aquellos materiales que no representan un daño al medio ambiente. Los criterios para determinar si un material es sostenible, se analizan desde los procesos a los cuales es sometido un material, es decir, extracción de materia prima, transformación, disposición y capacidad de reusó.

La comunidad de Mochuelo Bajo ubicada al sur de la ciudad de Bogotá es una zona que tiene una alta demanda en la construcción de vivienda, debido a que las existentes en su mayoría no cuentan con acceso a los servicios públicos básicos. Además, las familias que residen en esta zona no obtienen los suficientes recursos económicos para atender sus necesidades básicas y algunas de estas han llegado a esta área a partir de los desplazamientos forzosos a causa de la violencia en el país.

Es importante mencionar que esta zona es aledaña al Relleno Sanitario Doña Juana y a pesar de que este operador de basuras cuenta con medidas de mitigación de impacto a la comunidad, se ha observado que existen problemáticas que aún no han sido solucionadas, como, por ejemplo, manejo de olores, presencia de residuos y sensación de confort y bienestar por parte de la población.

¿Es posible diseñar un prototipo de estructura habitacional sostenible que mejore la calidad de vida de la comunidad de Mochuelo Bajo teniendo en cuenta tecnologías que involucren ahorro de agua, nuevos materiales, optimización de la energía y autoabastecimiento implementando la metodología BIM?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. GENERAL

- Proponer un prototipo de estructura habitacional que integre parámetros de construcción, tecnologías sostenibles a partir de la implementación de la metodología BIM para brindar una posible solución de vivienda a la comunidad vulnerable en la vereda de Mochuelo Bajo, en la ciudad de Bogotá D.C.

1.4.2. ESPECIFICOS

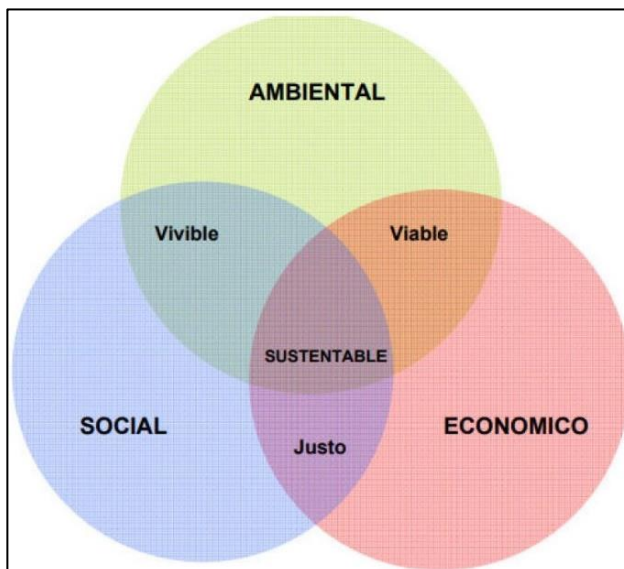
- Elaborar el estado del arte respecto a las características de las viviendas sostenibles basadas en prototipos nacionales e internacionales, a través de un análisis de contenido web para identificar prácticas de referencia sostenible en el sector.
- Realizar el diseño estructural, arquitectónico, hidrosanitario, eléctrico del prototipo de vivienda garantizando el cumplimiento de la normatividad colombiana respecto a construcción de edificaciones y estabilidad de la solución habitacional para integrar las necesidades de la comunidad.
- Establecer el diseño habitacional que se ajuste a las condiciones sociales, económicas y ambientales de la comunidad de Mochuelo Bajo teniendo en cuenta la aplicación de la metodología BIM en las dimensiones 3D, 4D y 5D a través del software Autodesk Revit y Autodesk Navisworks.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO TEORICO

El desarrollo sostenible es un tipo de desarrollo que satisface las necesidades del presente sin complicar la capacidad de las próximas generaciones para satisfacer sus adecuadas necesidades. La sostenibilidad es la capacidad de conservar algo por sí mismo, normalmente se basa en tres puntos de vista: ecológico, económico y social (véase la Figura 1). Esto genera una relación de los tres ámbitos que determinan que tan sostenible se puede llegar a hacer [8].

Figura 1. Diagrama sostenibilidad



Fuente. Martínez García, 2015

Las metodologías de sostenibilidad se enfocan en el mejoramiento de los elementos y los materiales que están en la actualidad que tienen rasgos ambientales y han sido desarrollados en los últimos años. Para establecer si los materiales son sostenibles se analiza desde los primeros pasos, como la extracción de la materia prima, la transformación de esta, sus disposiciones, si tiene o no capacidad de reusó, entre muchos más factores. En los últimos años estos materiales sostenibles son derivados de residuos o subproductos industriales en los procesos de extracción de materias primas [10].

La construcción sostenible es aquella que tiene un respeto y compromiso por el medioambiente, por esto el uso eficiente del agua y la energía son pilares principales de la construcción sostenible, como también son los materiales y los

recursos que se obtienen con muy poco o nada de daño al ambiente, con esto se busca reducir el impacto ambiental. La sostenibilidad no es solo para las edificaciones en sí, también el entorno que las rodea [11].

La construcción sostenible demanda idealmente mejorar, conservar, ahorrar y racionalizar. Las principales condiciones que se deben tener en cuenta en la construcción sostenible incorporan un consumo racional de energía y agua a lo largo de la vida útil de la edificación, el uso de materiales que no contaminen el medioambiente y elementos que traten de usar las cinco “R” (Reducir, Reparar, Recuperar, Reutilizar y Reciclar). En adición a esto hay que disminuir los residuos que genera la construcción antes, durante y después, el uso racional del suelo y la integración al entorno nacional [12].

Desde una perspectiva netamente medioambiental, las discusiones que abarcan todo el ámbito y desarrollo de las cuestiones ambientales y sostenibles se realizan en conferencias alrededor de todo el mundo, siendo las conferencias de Estocolmo (1972), Rio de Janeiro (1992), Kioto (1997), Johannesburgo (2002), Doha (2012) y Rio de Janeiro (2012) las más importantes. En estas conferencias los jefes de estado y gobiernos determinan los objetivos y requisitos del desarrollo social [13].

Para determinar qué tan sustentable o sostenible es una edificación, existen varios sistemas de evaluación de los mismos, como, por ejemplo: LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) sus evaluación se basa en los materiales, la forma de la edificación, las instalaciones y su entorno; BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) cuyas evaluaciones se basan en salud y bienestar de los usuarios, la gestión y uso de energía, emisiones de CO₂ y ecología; VERDE (Valoración de Eficiencia de Referencia De Edificios) que evalúa la prestación final de la edificación [14].

Si se desea ir por el camino de la sostenibilidad, además de tener una gestión sostenible, también dicha construcción tiene que estar orientada al diseño de los productos y sus procesos (véase la Figura 2). Estos procesos son tres: un análisis del ciclo de vida que sirve para comprender mejor los impactos ambientales de la construcción; un ecodiseño que integre elementos sosteniblemente amigables con el ambiente; y un etiquete ecológico que indique los consumos de energía de los productos que se usan en la edificación [15].

Figura 2. Medidas para reducir el impacto en el medio ambiente



Fuente. Martínez García, 2015

La construcción es un sector que genera un significativo impacto al ambiente y que tiene un consumo de grandes cantidades de energía y recursos materiales. Aproximadamente un 38% del consumo total de energía en el país corresponde a las edificaciones. Sobre el 55% de las materias primas extraídas de la tierra son para la industria de la construcción, y la transformación de estas genera aproximadamente 50% de emisiones de CO₂. Un ejemplo es el cemento, cuya fabricación genera entre el 3 y el 5% de emisiones atmosféricas de Co₂ en todo el mundo [16].

Los aspectos sociales son los últimos conceptos en incorporarse a la definición de sostenibilidad. En la construcción el aspecto social de mayor importancia es garantizar la seguridad y la salud en las obras. Pues la construcción es una industria muy peligrosa en términos del número de víctimas mortales que genera año tras año. Así pues, los principales impactos ambientales que generan las construcciones son: el consumo “excesivo” de energía; el agotamiento de los recursos no renovables; su generación de grandes residuos antes, durante y después de las construcción; las emisiones de CO₂ a la atmosfera directa e indirectamente generadas; las pérdidas del suelo; y la siniestralidad en las obras [17].

2.2. MARCO CONCEPTUAL

El sector de la construcción se encuentra en un proceso de transformación hacia una era con mayor contenido digital y el aprovechamiento de las herramientas que brinda la tecnología para disminuir sobre costos y tiempos adicionales en la ejecución de los proyectos, a causa de inconsistencias en la etapa de diseño que repercuten de forma directa en la etapa de construcción.

Uno de los avances que se ha observado en los últimos años, es el uso e implementación de la metodología BIM. El BIM (Building Information Modeling) o modelado de información de construcción, se define como una forma de trabajo colaborativa a partir de utilización de modelos digitales en tres dimensiones, que permite la visualización del proyecto construido para adelantarse desde la etapa de diseño a inconvenientes que se presentan durante la ejecución del proyecto [18].

Esta metodología no solo permite una vista del proyecto construido, sino, convierte a los diferentes modelos digitales en bases de datos que indican información acerca de las características de los materiales, tiempos de ejecución de las actividades y costos asociados a procesos.

Respecto a la historia de esta metodología, hay que remontarse al año 1990 en donde se inició con la utilización de software CAD (diseño asistido por computadora). Este tipo de software ayudo a los diferentes diseñadores a realizar y producir planos de forma más rápida y con niveles de detalle altos para la época. Sin embargo, el principal inconveniente se evidenciaba en que, para las disciplinas de arquitectura, instalaciones o estructuras, se debía utilizar diferente software que tenían características específicas de cada tipo de diseño.

Otro de los problemas que presentaba el software CAD, era la limitación en cuanto al enlace entre diferentes especialidades de diseño, es decir, se requería de una labor adicional para detectar inconvenientes de cruces o choques entre elementos y se hacía necesaria la superposición de planos, que en algunos casos no permitía ver de manera clara problemas de diseño.

Además de lo anterior, los elementos dibujados en los planos eran estáticos y al realizar alguna modificación al diseño, se debían revisar conexiones entre los mismos para evitar inconsistencias de diseño [19].

Para inicios del año 2000, surgen nuevos tipos de software que permiten la interacción entre diferentes especialidades de diseño y articulan la generación de planos en dos y tres dimensiones. A pesar de que la metodología BIM surgió o tuvo sus inicios en el año 1975, se había imposibilitado su uso debido a la limitación en el desarrollo de software.

El desarrollo de software con capacidad de trabajo en modelos en tres dimensiones permitió la implementación del BIM con mayor profundidad, puesto que los diferentes diseñadores contaban con una herramienta que permitía trabajar de forma simultánea con otras especialidades y se podían asignar

diferentes propiedades a los materiales, además, que estos no eran estáticos y se iban modificando automáticamente con algún cambio en el diseño.

Actualmente el software para trabajo con la metodología BIM tiene grandes avances y herramientas disponibles para que la fase de diseño de los proyectos contemple todos los requerimientos exigidos por los clientes y evite errores en la fase de construcción. El estado de la implementación en el mundo y Colombia de esta forma de trabajo se profundiza en el apartado de estado del arte.

Esta metodología de trabajo se divide a su vez en dimensiones y cada una de estas tiene una función específica teniendo en cuenta el desarrollo del proyecto y los objetivos a alcanzar. Se relacionan las dimensiones, características y los documentos entregables para cada etapa (véase la Tabla 1).

Tabla 1. Dimensiones del BIM

Dimensión	Elemento Característico	Elementos Asociados
2D	Documentación.	Planos, esquemas, etc.
3D	Espacio tridimensional.	Visualización.
4D	Tiempo.	Programación de obra.
5D	Costo.	Presupuestos.
6D	Aplicaciones operacionales y de diseño.	Análisis de eficiencia energética, ventilación, iluminación, análisis estructural, etc.
7D	Aplicaciones relacionadas.	Logística, contratación, compras, manejo de proveedores.

Fuente. [20]

Como se mencionó anteriormente, la base sobre la cual se aplica esta metodología es a partir de un modelo tridimensional que permite observar la edificación en su totalidad desde las diferentes disciplinas y la forma en que interactúan en conjunto. Estas dimensiones van desde 2D hasta 7D.

Los modelos 3D permiten identificar las propiedades geométricas de los elementos del proyecto; en el modelo 4D se analiza el tiempo de ejecución y en el modelo 5D el costo final del proyecto; para las dimensiones 6D y 7D se estudian modelos de eficiencia energética y control de la construcción en etapa de operación, respectivamente [20].

Uno de los aspectos fundamentales que deben considerarse en el momento de implementar la metodología BIM en los proyectos, es el uso que se le va a dar al modelo antes de iniciar el proceso de elaboración del mismo.

La facultad de Ingeniería de la Universidad Estatal de Pensilvania (PennState College of Engineering), una de las principales universidades de ingeniería en Estados Unidos, ha establecido a través de los diferentes estudios, los posibles usos de los modelos BIM, los cuales se mencionan a continuación:

- ✓ **Modelación de Aspectos Actuales:** En este uso, se modelan las condiciones actuales del entorno en donde se va a realizar el proyecto para validar su funcionalidad e interacción con las condiciones existentes.
- ✓ **Presupuestos y Cuantificaciones:** Para este caso, el modelo se utilizará para extraer cantidades y conocer el costo aproximado del proyecto desde la fase de diseño hasta la fase de construcción.
- ✓ **Programación y Planificación:** El modelo será utilizado para que los involucrados conozcan el proceso constructivo a través del tiempo y tengan en cuenta eventos importantes durante la ejecución del proyecto.
- ✓ **Evaluación de Sostenibilidad:** El uso del modelo se enfocará en verificar aspectos de sostenibilidad y así los diseñadores puedan tomar decisiones al momento de plantear su diseño con el objetivo que el proyecto obtenga certificaciones de sostenibilidad avalada por los diferentes entes.
- ✓ **Análisis de Ingeniería:** Por medio del diferente software en el mercado se puede articular la metodología BIM con el diseño arquitectónico, estructural y de instalaciones, lo que permite que un cambio en el diseño se refleje en el modelo de construcción de manera simultánea.
- ✓ **Coordinación:** Los diferentes diseñadores entregan sus diseños y se localiza un modelo central en donde se validarán interferencias, choques y demás aspectos antes de iniciar el proceso de construcción.
- ✓ **Registro y As Built:** Este uso tiene como finalidad generar una base de datos de todos los recursos, procesos realizados en la fase de construcción para tener en cuenta dichos aspectos en la fase de operación y mantenimiento.

La universidad mencionada anteriormente relaciona alrededor de 21 diferentes usos de los modelos BIM, sin embargo, en el presente documento se relacionan los más importantes teniendo en cuenta el criterio de los autores [21].

Una vez relacionado el concepto de dimensión y uso de los modelos aplicado al BIM, se articula un nuevo parámetro que debe ser tenido en cuenta al momento del desarrollo de los modelos tridimensionales. El concepto LOD (Level of

Development), hace referencia al nivel de detalle que tendrán los elementos que componen el modelo general de trabajo.

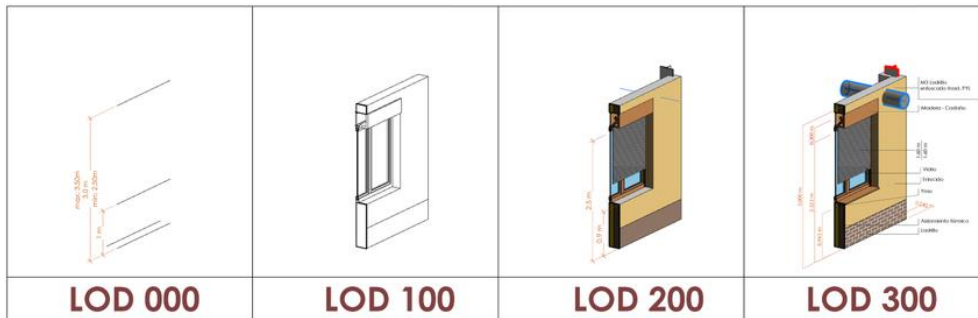
Como se mencionó anteriormente, esta metodología de trabajo consiste en establecer una base de datos y de información que sirva en el momento de ejecutar un proyecto. Es en este punto en donde se debe tener en cuenta la relación entre el nivel de detalle y el uso del modelo, es decir, considerar si el modelo será utilizado para cuantificación de cantidades, verificación de interferencias entre elementos, planificación temporal, registro de construcción, entre otros [22].

LOD se divide a su vez en niveles, los cuales se relacionan a continuación:

- ✓ **LOD 100:** Se trata de un esquema general del elemento.
- ✓ **LOD 200:** Se representa el tamaño, ubicación y la forma del elemento.
- ✓ **LOD 300:** En este nivel de detalle se relacionan aspectos tales como tamaño, forma, cantidad y se puede incluir información adicional no esquemática del elemento.
- ✓ **LOD 350:** Se relacionan las mismas características de LOD 350 y adicionalmente se especifican elementos correspondientes al proceso constructivo.
- ✓ **LOD 400:** En este nivel de detalle se relacionan aspectos tales que permitan identificar la fabricación y montaje del elemento. Se incluye información no esquemática tal como propiedades de materiales y especificaciones técnicas.
- ✓ **LOD 500:** Se relaciona el elemento construido como si estuviera puesto en el proyecto.

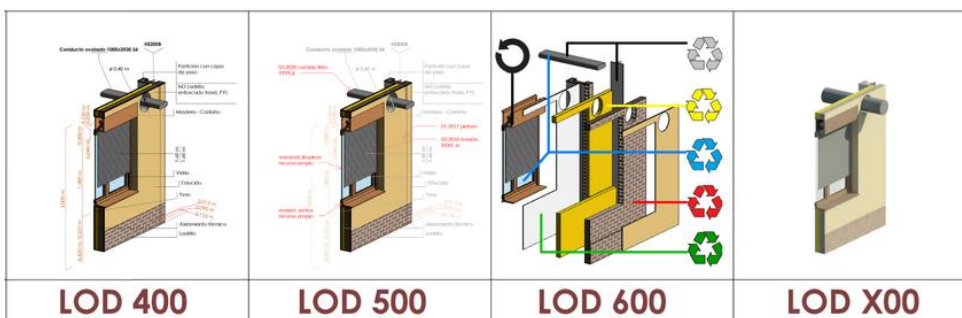
Se relaciona de manera gráfica la representación de los niveles de detalle que se deben tener en cuenta bajo la metodología BIM y en la realización de los modelos (véase la Figura 3 y Figura 4).

Figura 3. Niveles de Detalle LOD 0 a LOD 300



Fuente. <https://editeca.com/lod-nivel-de-desarrollo/>

Figura 4. Niveles de Detalle LOD 400 a LOD 600



Fuente. <https://editeca.com/lod-nivel-de-desarrollo/>

Dentro de las principales ventajas que ofrece la metodología BIM, se pueden mencionar las siguientes:

- ✓ Reducción de costos y control de imprevistos para clientes y profesionales que interactúan en la ejecución del proyecto.
- ✓ Coordinación de las diferentes disciplinas de diseño y control sobre la documentación generada y que es de consulta en la etapa de construcción.
- ✓ Cálculo de cantidades precisas para realizar los procesos de contratación, licitaciones y pedido de materiales.
- ✓ Simulaciones de costo y tiempo para establecer el flujo de caja del proyecto y asegurar los recursos para la construcción de este.

- ✓ Planeación con anticipación de las actividades, visualización de problemas de interferencias e inconvenientes constructivos.
- ✓ A través de la generación de modelos 3D, automáticamente se van realizando los dibujos en 2D. Además, las modificaciones se realizan de manera simultánea, lo que conlleva a reducir tiempos en la generación de planos.
- ✓ Al generar un nivel de detalle alto del modelo de construcción, este se convierte una base de datos que permite visualizar toda la información del proyecto desde la etapa de diseño hasta el fin de la etapa de construcción (Kubba 2017 – Referenciar con Mendeley).

Teniendo en cuenta que esta metodología se está adoptando en Colombia de manera reciente, se han observado puntos a mejorar y dificultades que deben ser superadas por parte del gobierno nacional, diseñadores y constructores, las cuales se mencionan a continuación:

- ✓ Falta de capacitación del diferente software a los trabajadores involucrados en el sector de la construcción.
- ✓ Miedo y resistencia por parte de los trabajadores al uso de nuevas tecnologías y diferentes metodologías de trabajo contra los procesos tradicionales.
- ✓ Altos costos en la implementación de esta metodología debido a los precios del software y de los equipos de cómputo.

Se observa que las dificultades son menores en comparación con las ventajas que ofrece esta metodología, por lo cual se espera que con el transcurrir de los años, estas barreras desaparezcan y se implemente la metodología BIM tanto en el sector público como en el privado para todos los proyectos.

2.3. MARCO LEGAL

Los diversos países del mundo han mostrado su preocupación debido al constante incremento de la población y al agotamiento de los recursos naturales. A partir de este hecho, se han establecido acuerdos relacionados con el medio ambiente en donde se establecen criterios y parámetros que buscan cuidar el entorno y garantizar recursos para próximas generaciones.

En Colombia, el tema no es ajeno y desde las diversas organizaciones tales como el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), la Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol), la Corporación Financiera Internacional (FIC) y los ministerios asociados a la protección y buen uso de los recursos, se

han establecido normas, leyes y parámetros que buscan mitigar el impacto negativo del sector de la construcción.

En esta parte del presente documento se mencionarán las diferentes leyes y decretos que se han expedido por parte del gobierno colombiano y los documentos asociados a la sostenibilidad.

- ✓ **Objetivos de Desarrollo Sostenible (Programa de Naciones Unidas – 2015):** Son 17 objetivos enfocados en alcanzar metas en los aspectos ambiental, social y económico. Colombia hace parte de este acuerdo y tiene grandes atrasos en los puntos de salud y bienestar, crecimiento económico, industria, innovación e infraestructura, paz, justicia y reducción de la desigualdad.

En temas de investigación, innovación, uso de energías limpias y ahorro de agua, Colombia presenta un atraso importante y es uno de los países que tiene menor cumplimiento en los 17 objetivos mencionados anteriormente. Es por esto que para el año 2030 se tenga un cumplimiento superior de dichos objetivos aprovechando la oportunidad del fin del conflicto armado [23].

- ✓ **Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022:** El plan nacional de desarrollo de un país se define como la ruta que se traza el gobierno para alcanzar metas que se plantean respecto a aspectos sociales, económicos, educativos y demás. En este documento se mencionan planes para que la construcción sostenible este más presente en el desarrollo de los proyectos [24].
- ✓ **CONPES 3919 (2018):** Mediante este documento se tiene el objetivo de avanzar en la implementación de los diversos parámetros de sostenibilidad a través de un control más estricto en el ciclo de vida de los materiales utilizados en el sector de la construcción y la puesta en marcha de incentivos hacia un cambio en el sector adoptando medidas que permitan mitigar los impactos ambientales y en el año 2025 tener avances en la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono planteada por el presidente Juan Manuel Santos [2].
- ✓ **CONPES 3934 (2018):** A partir de la expedición de este documento, Colombia asume el compromiso de avanzar en la transformación de la economía, conociendo que las condiciones actuales generarán un impacto negativo sobre el medio ambiente y al avanzar el tiempo, dichas condiciones no podrán ser apoyadas.

Para cumplir dicha meta se fijan 5 ejes estratégicos, los cuales consisten en ampliar la oferta de productos económicos que se relacionen cada vez más con el concepto de sostenibilidad a partir de la generación de insumos competentes que no comprometan la estabilidad del medio ambiente.

Por otro lado, se pondrán en práctica planes para apoyar la ciencia y la innovación con el fin de mejorar las condiciones de los campos más importantes de la economía del país. Por último, se requiere de métodos de verificación de implementación de esta política por parte del gobierno nacional [25].

- ✓ **Resolución 463 UPME (2018):** En términos generales, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) estimula el uso de energías alternativas para los diferentes proyectos con el fin de disminuir el daño al medio ambiente y brinda exenciones de IVA e impuestos a aquellos que se acojan a estas medidas [26].
- ✓ **Resolución 0472 (Ministerio de Medio Ambiente – 2017):** En este documento, el gobierno regula la forma de manejo de los residuos de construcción y demolición en términos de reutilización y disposición final [27].
- ✓ **Resolución 0549 (Ministerio de Vivienda – 2015):** En esta resolución, se relacionan los conceptos de medidas pasivas y activas que logran la disminución del uso de la energía y el agua. Dentro de las medidas pasivas se menciona el aprovechamiento de las condiciones que ofrece el medio en donde se desarrolla el proyecto y para las medidas activas, estas se refieren a la utilización de sistemas que mitiguen el uso de fuentes no renovables [28].
- ✓ **NSR-10 – Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente:** En este reglamento se establecen los criterios mínimos para el diseño de edificaciones con el fin de que las estructuras diseñadas no se destruyan a pesar de ser sometidas a sismos de baja, mediana y alta intensidad. En este reglamento se indican los parámetros de diseño para estructuras en concreto, mampostería, madera y acero. Sin embargo, a la fecha no existe un apartado que indique parámetros sostenibles articulados con este reglamento.

Para el presente trabajo de grado, se tuvieron en cuenta los Títulos A, B, C, D y E para el diseño del prototipo de vivienda sostenible [29].

Teniendo en cuenta los diferentes planes, resoluciones y decretos que se han realizado por parte del gobierno de Colombia, se observa que la construcción está encaminada hacia el concepto de sostenibilidad y a la protección de los recursos

no renovables, sin embargo, estas estrategias no se implementan en su totalidad y se está muy lejos de alcanzar dichos objetivos, principalmente por que el reglamento para la construcción de edificaciones (NSR-10) no indica de manera puntual parámetros sostenibles en edificaciones.

3. ESTADO DEL ARTE

A través del tiempo, el hombre se ha encargado de satisfacer las necesidades de vivienda y alimentación a través del uso de los recursos que le brinda la tierra sin tener en cuenta que estos son limitados y algunos no se renuevan de forma constante a través del tiempo, sino, se agotan y no pueden volver a utilizarse.

En los últimos años, se ha generado la alerta por parte de organizaciones ambientales acerca del daño que se le está haciendo al planeta al continuar con las prácticas convencionales en diversas actividades. Por lo tanto, los gobiernos de cada país han establecido leyes y normas para mitigar el daño hacia el medio ambiente y el sector de la construcción no es ajeno a estas medidas.

La construcción de edificaciones, puentes y en general actividades de obra civil tiene un grado de responsabilidad en la afectación al planeta. Según diversos estudios, este sector de la economía genera alrededor del 33% de residuos, consume un 50% de materias primas y gasta el 40% de la energía disponible en el mundo, lo cual lo cataloga como uno de los sectores que tiene mayor impacto negativo directo sobre el planeta [30].

A raíz de esta problemática entorno al sector de la construcción, se han planteado los conceptos de sostenibilidad y construcciones sostenibles. La sostenibilidad está relacionada con la posibilidad que una labor que se desarrolla de forma permanente no comprometa los recursos de las siguientes generaciones, es decir, no se genere un agotamiento de los diversos recursos no renovables.

Respecto a la construcción sostenible, este concepto se refiere a la generación de viviendas que a través de la implementación de técnicas innovadoras y nuevas tecnologías, ayuda a mitigar el impacto generado por la construcción por medio de características tales como ahorro de agua, eficiencia energética y nuevos materiales.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó una revisión del estado actual de las tecnologías de ahorro de agua, energía, nuevos materiales y el estado de implementación del concepto de construcción sostenible con la nueva metodología de trabajo por medio de herramientas digitales, llamada BIM.

3.1. ENERGIA

En el área de energía sostenible, se encuentran las estrategias activas las cuales manejan soluciones que se basan en la tecnología de punta para establecer un

entorno cómodo para los consumidores. Los sistemas que son el foco principal de estas estrategias son la ventilación, aire acondicionado, calefacción e iluminación eléctrica. Además, se introducen tecnologías de suministro innovadora las cuales brindan acceso a energía limpia y ayudan a proteger el medio ambiente en todos los niveles (local, regional, nacional y mundial).

Para que estas estrategias activas sean aplicables, la energía renovable brinda alternativas para que los edificios y las estructuras sostenibles sean autosuficientes pues compensan las necesidades energéticas al generar nuevas fuentes o suministros. Los recursos de energía renovable habituales para la generación de energía in situ incluyen la energía solar, eólica, biomasa, hidroeléctrica y geotérmica.

La aplicación de energía solar se basa en la disponibilidad de energía solar que incide en un lugar. Esta irradiación se mide en kWh/m² por duración, es el criterio clave para determinar la energía solar y se clasifican en dos formas principales: Irradiancia horizontal global que es la cantidad total de radiación solar directa y difusa que cae sobre una superficie; Irradiancia normal directa que es la cantidad de radiación solar recibida en una superficie que siempre se conserva perpendicular al haz solar directo [31].

Los sistemas fotovoltaicos convierten la radiación solar en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico en los materiales como el silicio y el selenio. Estos sistemas fotovoltaicos se instalan en tejados o fachadas de las edificaciones. Están hechos de múltiples materiales que pueden generar una eficiencia diferente del sistema [32].

Los sistemas solares térmicos convierten la energía solar en calor transfiriéndola a agua que corre a través de una serie de tuberías detrás de un revestimiento que absorbe el calor. Los sistemas solares térmicos se clasifican en baja temperatura (colectores no vidriados), media temperatura (colectores de placa plana) y alta temperatura (colectores de tubo de vacío). Los factores que afectan la absorción de calor son el ángulo y el azimut de la superficie del sistema [33].

Otro sistema de energía renovable in situ son las turbinas eólicas que convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica utilizable. Cuando el viento sopla, las hélices giran para aprovechar la energía eólica y hacen girar el generador eléctrico que genera la electricidad. Las turbinas eólicas en las edificaciones usualmente se montan en los techos, pero al estar montados en estos sitios sufren turbulencias y velocidades de viento promedio anuales bajas, lo que los hace menos viable en sitios urbanos [34].

Las tecnologías de biomasa descomponen la materia orgánica para liberar su energía almacenada, como los biocombustibles y la bioenergía. Se producen con el resultado de digestiones anaeróbicas en los desechos vegetales o animales. La biomasa se utiliza cada vez más para alimentar plantas eléctricas debido a la baja emisión de carbono [35].

Los sistemas geotérmicos utilizan recursos de calor retenidos en terrenos poco profundos, agua caliente (termales), roca debajo de la superficie y en ocasiones magma (roca fundida ubicada en las profundidades de la tierra). Los sistemas geotérmicos son la aplicación habitual de energía geotérmica pues usa la temperatura constante de la tierra como medio de intercambio de calor [36].

Se encuentra por otro lado la energía hidroeléctrica que utiliza la energía del agua que fluye desde aguas arriba a aguas abajo para impulsar una turbina conectada a un generador eléctrico, generando electricidad. Es una fuente de energía altamente eficiente y confiable sin muchas variaciones, esto se debe al flujo constante. La energía producida es proporcional al caudal volumétrico por la altura de presión [37].

Otro campo que se encuentra en la energía sostenible es la eficiencia energética, un ejemplo son las nuevas etiquetas en los electrodomésticos (véase la Figura 5), que es la forma de gestionar y detener el aumento del consumo de energía, disponiendo los mismos servicios con menos gastos de energía o más servicios con los mismos consumos de energía. Estas optimizaciones energéticas se deben considerar antes de las estrategias de energía renovable, porque el costo de las optimizaciones es aproximadamente la mitad del costo de instalar energía renovable [38].

Figura 5. Etiqueta de eficiencia energética



Fuente. Martínez García, 2015

A parte de crear más fuentes y mejorar la eficiencia de las soluciones energéticas, también es esencial disminuir la demanda de energía primaria. Esta eficiencia puede proporcionar un ahorro mayor de energía en las aplicaciones de edificaciones mediante la explotación de la tecnología de la información. La falta de sistemas que ayuden a coordinar las operaciones eléctricas y su consumo tiene como resultado un alto desperdicio de energía debido al descuido de aparatos eléctricos de los usuarios [39].

Aplicando un sistema controlador que emplea sensores avanzados para detectar la ocupación, las funciones de las edificaciones y las actividades internas, así como otros factores circundantes de la misma. Los datos recopilatorios son controlados y analizados para determinar suministros en un futuro posible. Estos sensores ajustan la cantidad de energía de acuerdo con la demanda de la edificación [40].

La respuesta a la demanda es un cambio en el uso de electricidad por parte de los consumidores en los momentos de alta demanda o cuando la confiabilidad del sistema energético se vea comprometida. Está basado en animar a los consumidores a reducir su uso o cambiar sus patrones de consumo de energía, brindando incentivos de recompensas a los consumidores que participen en los programas o eventos de la respuesta de la demanda [41].

Adicional a esto se introduce una red inteligente que ofrece reacciones interactivas entre los mismos operadores de la red, los servicios públicos y los consumidores. Los aparatos y equipos de las edificaciones están conectados en la red, para que los consumidores tengan un acceso directo y manipulen mediante los medidores inteligentes y controles tecnológicos integrando aplicaciones [42].

Es un enfoque que integra los principios de gestión de uso, en este caso el uso de la energía, que se centra en los dispositivos inteligentes y controles avanzados para determinar un sistema operativo que se basa en los requisitos de los consumidores, las limitaciones de los servicios públicos, los incentivos correspondientes y muchas otras variables como el clima y la ocupación de la edificación [43].

Los sistemas de control son dependientes del tiempo y la presencia, donde su uso se basa en activar la entrada de energía cuando los aparatos y sistemas lo necesiten. Un punto base en la energía es la iluminación, esta se puede ajustar por medio de los detectores y sensores de movimiento. Las luces se apagan o atenúan automáticamente cuando hay bastante luz natural de la edificación [44].

El rendimiento de energía también se puede optimizar con una minuciosa consideración de estrategias pasivas como los materiales, las formas geométricas de las edificaciones, el diseño de estas, así mismo la orientación, la ubicación donde se construya. Estas estrategias son muy sensibles a componentes climáticos para aplicaciones efectivas. Un eficiente diseño pasivo hace uso efectivo de las condiciones y los recursos ambientales a su alrededor. Esta se realizan para aumentar el potencial de ventilación y la luz de día [45].

Una orientación adecuada es fundamental para garantizar que las edificaciones necesiten menos energía para calefacción, ventilación e iluminación. Un ejemplo de esto son las ventanas que deben diseñarse orientadas al norte o el sur. También es importante considerar las trayectorias y dirección del sol, así mismo la fuerza del viento con lo cual se determina la mejor orientación apropiada de las edificaciones [46].

3.2. AHORRO DE AGUA

Teniendo en cuenta la creciente problemática con el manejo de los recursos hídricos en el mundo y la posible escasez del agua en un futuro no muy lejano, se hace necesario y urgente por parte de las diversas organizaciones ambientales y los gobiernos de cada país, establecer medidas inmediatas que permitan una correcta utilización, disposición y reutilización del agua para el uso de las siguientes generaciones y de las demás especies.

El concepto de sostenibilidad aplicado a un recurso tan importante como lo resulta el agua está orientado al uso eficiente del mismo a pequeña, mediana y gran escala. En otras palabras, el uso responsable se implementa en los sectores de la industria, agricultura, salud y vivienda. Es importante aclarar que todos los sectores que hagan uso de este recurso deben estar comprometidos con esta causa.

Las organizaciones, consejos de construcción sostenible y ministerios de medio ambiente en los diversos países de mundo han establecido leyes, normas y códigos en donde se menciona la problemática y como los diferentes actores pueden ayudar a mitigar el impacto ambiental en el agua.

Dentro de las principales recomendaciones y acciones que se pueden adoptar se encuentra la recolección de agua lluvia para uso no potable, siempre y cuando no tenga un tratamiento adicional, por ejemplo, descarga de inodoros, riego de plantas y labores de aseo al interior de las edificaciones. Asimismo, se recomienda la instalación de aparatos sanitarios y accesorios que tengan especificaciones de mínimo uso de agua pero que cumplan con las necesidades del ser humano [47].

Respecto al tratamiento de las aguas grises, se ha mencionado por diferentes organizaciones que este tipo de aguas tiene una posibilidad de reutilización mínima si no se realiza un proceso de tratamiento tecnificado, es decir, a partir de la construcción y puesta en operación de plantas de tratamiento para aguas residuales. Lo anterior puede generar costos elevados para una sola edificación, sin embargo, el retorno de la inversión se puede dar a largo plazo [48].

En los últimos años se han desarrollado estudios acerca del impacto que genera la recolección y reutilización de aguas de lluvia y residuales en poblaciones con viviendas de interés social y con condiciones similares a la población de estudio del presente trabajo de grado.

En Brasil, a través del uso de software se proyectó un posible ahorro de agua potable del 21% a partir del reciclaje de aguas residuales y un ahorro del 43% teniendo en cuenta el conjunto de medidas tales como reuso de aguas residuales y de lluvia, aparatos sanitarios eficientes y de bajo consumo. Es importante señalar que la recolección de agua de lluvia depende principalmente del área de captación, que en este estudio se planteó entre 59 m² y 78 m² [49].

En otros países del mundo como Australia, se ha observado que la reutilización de agua de lluvia puede reducir el uso de agua potable en un 40%. En relación con las aguas residuales, reusar este tipo de agua pudo reducir las aguas residuales en 54%. Estos estudios se realizaron en edificaciones residenciales debido a que las viviendas generan mayores residuos.

En el sector de la construcción se tiene en cuenta el concepto de agua incorporada. Dicha definición hace referencia al agua que se utiliza en el proceso de fabricación de los diversos materiales utilizados en una edificación. Las medidas adoptadas por las constructoras y contratistas consisten en el uso responsable en actividades tales como curado del concreto, humectación para evitar la propagación de material particulado y aseo al interior del proyecto [50].

Como se mencionó antes, los avances de la sostenibilidad en el manejo del agua se reducen a la reutilización de agua de lluvia y tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, este tema se ha orientado principalmente al agua de lluvia, debido a que el tratamiento de aguas residuales es costoso para una sola edificación. Es por esto que los gobiernos desarrollan proyectos de saneamiento para poblaciones extensas donde el costo sea justificado y se presente un retorno de la inversión en un tiempo mínimo.

3.3. NUEVOS MATERIALES

Los materiales de construcción se definen principalmente como aquellos elementos que tienen propiedades específicas y que cumplen una función dentro de una edificación. Estos componentes garantizan estabilidad, resistencia, control de temperatura y estética.

Los principales materiales utilizados y los más comunes son el concreto y el acero de refuerzo. La combinación de estos dos insumos permite obtener el conocido concreto reforzado, utilizado en la construcción de viviendas, edificaciones, puentes, centros comerciales, hospitales y demás estructuras que se pueden observar de forma cotidiana.

A pesar de que esta combinación de materiales es la más utilizada, se ha observado que la huella de carbono y la afectación al medio ambiente es cada vez más profunda. La esencia del concreto es el cemento y se ha identificado que la producción de este componente produce entre el 5% y 8% del total de emisiones de CO₂ (Dióxido de Carbono). Respecto al acero de refuerzo, se ha identificado un total de emisiones de 4.7%, además de la gran cantidad de energía que se requiere para fabricar este material y de los diversos componentes [51].

Considerando el impacto que tienen estos materiales en el medio ambiente, los esfuerzos desde las áreas de investigación de las universidades y compañías productoras de materiales ha estado orientado en la búsqueda de alternativas que puedan reemplazar los materiales que mayor impacto tienen y que cumplan con las normas, leyes y estándares exigidos para la construcción de edificaciones.

En términos nacionales, el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible ha establecido parámetros para la selección de materiales en la ejecución de proyectos de soluciones habitacionales sostenibles. Dentro de las alternativas que recomienda esta organización se pueden mencionar las siguientes:

- Materiales reutilizados y regionales, es decir, que la distancia desde el centro de fabricación no sea superior a 160 km hasta el lugar de construcción del proyecto.
- Materiales reciclados que en su proceso de fabricación se hayan utilizado residuos producidos en otros proyectos o que incorporen restantes de otros materiales que no pueden usarse nuevamente [52].

Las demás organizaciones del mundo que se relacionan con el concepto de sostenibilidad brindan una información similar y la forma de comprobar el uso de

los materiales es a partir de certificaciones que validen que son reciclables o reutilizables. Sin embargo, no se observa un panorama claro de listas de materiales que cumplan estas funciones y el espectro es muy grande. Es por esto por lo que, en el planteamiento de soluciones habitacionales sostenibles, la selección de materiales es criterio de los diseñadores.

En la revisión de la literatura y proyectos de investigación, se han presentado avances en la incorporación de insumos de vegetales al cemento portland, tales como arcilla calcinada, cascara de arroz y ceniza volcánica. En los ensayos realizados, se demostró que el cemento modificado con estos componentes presentó una buena resistencia a largo plazo y se incrementó la oposición al ataque de la corrosión [53].

Un residuo aprovechable proveniente de las termoeléctricas es la ceniza volante. Este sobrante es utilizado en la fabricación del cemento y se ha evidenciado que bajo ciertas condiciones mejora propiedades como durabilidad y trabajabilidad. Además, se han realizado experimentos en la elaboración de mortero de pega para construir muros de mampostería y se evidenció que usando entre 30% y 45% de cenizas volantes se pueden garantizar resistencias muy cercanas a 28 días en comparación con el mortero convencional [54].

Para el concreto, se han realizado diferentes combinaciones en el mundo y este tema tiene un gran avance con respecto a otros materiales. Por ejemplo, a partir del cambio el agregado grueso por concreto reciclado y la inclusión de escoria de alto horno, se obtuvo un material con buenas propiedades de resistencia a la compresión. Dentro de los valores aproximados, se menciona un material con resistencia cercana a 30 N/mm², es decir, valores superiores a 4000 PSI [55]. Este hecho hace que a partir de investigaciones se logre reutilizar residuos de demolición y disminuir el uso y explotación en canteras para los agregados.

Otro de los concretos modificados consta de la utilización de polímeros y fibras de carbono recicladas. En este estudio se analizaron variables tales como resistencia, consistencia y ductilidad. Dentro de los resultados se observó que dicho concreto podía tener una resistencia muy cercana a 60 Mpa (7000 PSI) y presentó buenos resultados de consistencia. Además, a partir de la utilización de estos residuos se podría reducir en un 22% las emisiones de CO₂ (Dióxido de Carbono).

Respecto al avance en la elaboración de ladrillos, en la India se han realizado proyectos de investigación en donde se han utilizado los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales para incorporarlos en la manufactura de ladrillos de tierra evitando procesos de cocción. Dentro de los resultados más relevantes se menciona que la utilización de lodos afecta de manera directa la

resistencia y la porosidad, arrojando resultados cercanos de resistencia de 3.97 MPa [56]. El análisis de esta investigación indica que estos ladrillos podrían ser utilizados en situaciones donde no sean sometidos a carga puesto que su resistencia es menor.

Existen estudios sobre un nuevo tipo de ladrillo llamado “Bitublock”, que se encuentra hecho a partir de betún, vidrio triturado y lodos provenientes de las aguas residuales. En las investigaciones y análisis realizados con este nuevo ladrillo, se identificó que a partir de la modificación del porcentaje de vidrio triturado y la variación del proceso de compactación, se pueden llegar a resistencias cercanas a 4 Mpa [57].

La reutilización de plásticos ha venido incrementándose por medio de la combinación con otros materiales y así obtener nuevos productos con mejores propiedades. En los estudios revisados, se evidenció que a partir de plásticos tales como policarbonatos y poliestirenos, cenizas volantes y cemento portland se han fabricado ladrillos que presentan grandes resistencias (17 Mpa) pero con inconvenientes de conductividad térmica [58].

El avance en la investigación de nuevos materiales que mitiguen el impacto de los materiales actuales continúa avanzando a grandes pasos, sin embargo, el principal obstáculo es la normatividad de sismo resistencia y construcción de edificaciones de cada país. En Colombia, mediante la NSR-10 solo se permite la construcción de edificaciones a partir de materiales tales como concretos reforzados, acero, madera, unidades de mampostería y guadua.

Respecto a nuevos materiales aún no hay una normatividad que permita usarlos y se espera que en la actualización de este código en los próximos años se puedan incluir materiales y se tenga más en cuenta el concepto de sostenibilidad, no solo a proyectos de vivienda, sino, en general a todos los proyectos.

3.4. CUBIERTAS

En la mayoría de las edificaciones, las cubiertas planas son espacios dedicados a alojar todo tipo de infraestructuras, lo que causa que estas superficies sean desaprovechadas con instrumentos útiles en su totalidad. Con esta condición actual, se ha propiciado la implementación de mecanismos en las cubiertas, con distintos sistemas constructivos que consiguen que las edificaciones sean respetuosas y más solidarias con el medioambiente.

Lo que se busca crear son edificaciones eficientes, que sean idóneas para reducir los gases nocivos y que aporten una mejor calidad de vida en las urbanizaciones,

para convertirlos en sitios más limpios, estéticos y naturales para los residentes. Las cubiertas verdes son alternativas a los métodos tradicionales, que aportan beneficios para la comunidad y el medioambiente, entre estas reducciones encontramos emisiones de CO₂, ahorro energético y creación de zonas verdes que sean útiles para el ocio [59].

De unos años para acá, la implantación de la metodología de cubiertas verdes en las edificaciones presenta un aumento que se debe a los grandes beneficios que esta metodología aporta a los usuarios y al entorno ambiental que lo rodea. En gran parte esto ha ocurrido en países europeos donde los gobiernos implantan leyes y medidas que fomentan el uso de la metodología de techos verdes. Esto origina la necesidad de comparar y estar al tanto de los costos de ejecución de las cubiertas convencionales y las verdes [60].

Se concibe por cubiertas verdes, vegetales o ajardinadas a techos que poseen un manto exterior de amparo de un sustrato vegetal que albergan una cantidad variable de especies vegetales. Este tipo de cubiertas también se le conocen como cubiertas ecológicas, ya que es una medida sostenible en la construcción de edificaciones que se una para mejorar el entorno del ambiente y/o ahorrar consumo de energía en zonas donde el clima es un factor clave de las edificaciones [61].

Las cubiertas como cualquier otro elemento de las edificaciones, no es en sí misma sostenible, sino que a través de sus componentes y materiales se logra reducir la huella que deja la edificación ambientalmente, principalmente en toda su vida útil. En base a esto, existen muchos tipos y métodos de cubiertas que pueden ser sostenibles desde sus diseños, los más comunes son las cubiertas verdes, las que usan tecnología de punta como las celdas fotovoltaicas y las que están categorizadas por metodología *passivhaus* [62].

Las metodologías *passivhaus* se enlazan muy bien en herramientas como el BIM, que facilitan la gestión de las edificaciones, donde se pueden moldear el diseño, los materiales, etc. Por esto, la sostenibilidad de las cubiertas empieza antes de las instalaciones, desde la concepción y diseño con criterios de eficiencia energética. Donde se busca mejorar el comportamiento del mismo y generar un menor impacto ambiental a lo largo de la vida útil [63].

3.5. ABASTECIMIENTO

El progreso sostenible está entrelazado directamente a los nuevos acercamientos frente a las nociones de economías sostenibles, toda vez que se tienen que acoplar entre sí la economía, la ecología, el medio ambiente y las culturas que

tienen las distintas comunidades. Con lo anterior definido, el progreso sostenible es aquel donde las actividades preservan la base de los recursos ambientales del punto de explotación, generando una estrategia que sea renovable [64].

Ahora bien, son las entidades nacionales, regionales, locales y distritales, las llamadas a determinar estrategias amigables con el ambiente, siendo conscientes del cambio climático y una gran responsabilidad social. Estas estrategias deben tener en cuenta no solo lo económico, sino lo ecológica también, dando un enfoque que involucre a las familias y a las entidades para ser parte de la solución. Es por esto que la importancia de un cambio en la visión de las urbes sea idóneo para la agricultura urbana [65].

Confirmando lo anterior, la agricultura cada vez debe ir en aumento, de la mano del desarrollo social, económico y cultural de la comunidad, en relación con la globalización y las nuevas exigencias que genere este cambio. Es por esto, que las grandes urbes como Bogotá, que cuentan con escasas zonas verdes destinadas a la agricultura, deben generar espacios apropiados para esta en constante contacto con el medio ambiente, que forma una analogía de bienestar, salud y entretenimiento [66].

La agricultura es uno de los ejes de primordial crecimiento de sostenibilidad, es una alternativa por excelencia, ya que puede mitigar el hambre y sostener la economía, además, de enfrentar el cambio climático de una manera amigable con el entorno. En este orden de ideas, la agricultura urbana como la técnica de huertos urbanos se constituyen en una oportunidad donde se apliquen los conocimientos de producción agrícola, utilización de espacios, desarrollo y conservación de los recursos naturales [67].

Conforme a lo anterior, la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación, determina a la agricultura urbana como aquellos cultivos de especies vegetales comestibles en el interior o alrededores de grandes ciudades. Del mismo modo, el Jardín Botánico de Medellín, afirma que estas agriculturas son prácticas que se originaron por el desplazamiento de los campesinos hacia las grandes ciudades por muchos motivos, llevando el conocimiento de actividades agrícolas del campo a las grandes urbes [68].

Estas huertas urbanas, se encuentran dentro de los sistemas de cultivo agrícola, y destacan en lugares como las pequeñas y medianas ciudades. Dichos cultivos son encaminados a alimentos saludables y orgánicos, sin la utilización de fertilizantes o pesticidas con el fin de ayudar al medio ambiente, a la seguridad alimenticia, a suplir las necesidades de los beneficiarios y aquellas personas que pueden

subsistir de esta fuente de ingreso. Y a su vez, generan zonas verdes en urbanizaciones que tienen poco espacio dedicado a ecosistemas naturales.

3.6. METODOLOGIA BIM

Actualmente, el sector de la construcción está evolucionando en diversos campos con el objetivo principal de reducir y mitigar errores en la ejecución de actividades, desviaciones negativas en términos de costo y uno de los aspectos más importantes, la pérdida de tiempos que luego se traducen en costos que deben ser asumidos por el cliente final del proyecto o en el caso de la contratación con entidades gubernamentales, el estado.

A partir de lo mencionado anteriormente, se ha observado la implementación en el mundo de herramientas tales como la metodología BIM (Building Information Modeling) o modelado de información de construcción. BIM es una metodología de trabajo colaborativa que a través de la elaboración de modelos en tres dimensiones permite el intercambio de información entre diseñadores, constructores y contratistas con la finalidad de disminuir tiempos, costos y aumentar la calidad de los proyectos [69].

La implementación de esta metodología ha presentado grandes avances durante los últimos 10 años, principalmente en Europa con gran participación por parte del Reino Unido, Francia, España y Alemania. En el año 2016, se logró la aprobación de tres normas que buscan estandarizar procedimientos acerca de la implementación del BIM en empresas y proyectos de construcción. Las normas son las siguientes:

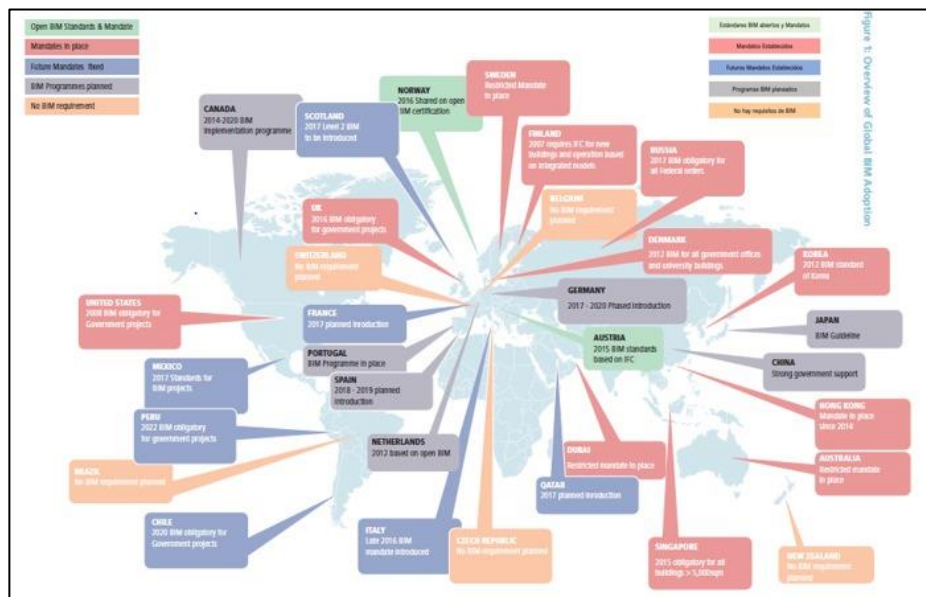
- **EN ISO 16739:** 2016 - Industry Foundation Classes (IFC) para el intercambio de datos en las industrias de construcción y gestión de instalaciones.
- **EN ISO 29481-2:** 2016 - Modelos de información para la construcción - Manual de entrega de información - Parte 2: Marco de interacción.
- **EN ISO 12006-3:** 2016 - Construcción de edificios - Organización de la información sobre obras de construcción - Parte 3: Marco para la información orientada a objetos.

La anterior información está relacionada en el Estudio BIM Global realizado por Dublin Institute of Technology. En este estudio, se analizó el estado de la implementación del BIM en países como Australia, Austria, Bélgica, Brasil, Canadá, Chile, China, Republica Checa, Dinamarca, Dubái, Finlandia, Francia,

Alemania, Hong Kong, Italia, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega, Portugal, Catar, Escocia, Singapur, España, Suecia, Suiza, Reino Unido y Estados Unidos.

El estado de implementación de la metodología BIM en el mundo (véase la Figura 6). Dentro de los países que cuentan con estándares BIM y normatividad reglamentada se encuentra únicamente Austria y Noruega, sin embargo, en dicho estudio se identificó que alrededor del 50% de los países analizados tienen proyectada la implementación de esta metodología a corto plazo [70].

Figura 6. Estado de Implementación del BIM en el mundo

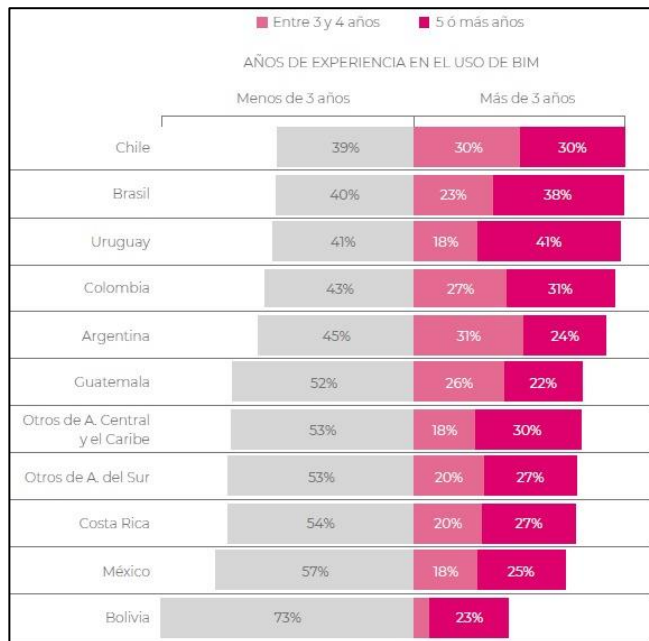


Fuente. Hore et al., 2017

Para el caso de América, el país más avanzado en el uso de la construcción digital es Estados Unidos con aproximadamente un 71% de implementación entre sector privado y público. La adopción del BIM en Latinoamérica con respecto a Estados Unidos o el resto del mundo es bastante menor, aunque, se encuentra en pleno desarrollo y crece año tras año.

La trayectoria y años de experiencia por país en temas relacionados con la Metodología BIM a través de la Encuesta BIM para América Latina y el Caribe (véase la Figura 7), elaborada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Bim Forum Latam y la Federación Interamericana de la Industria de la Construcción (FIIC).

Figura 7. Experiencia en BIM para Latinoamérica y el Caribe



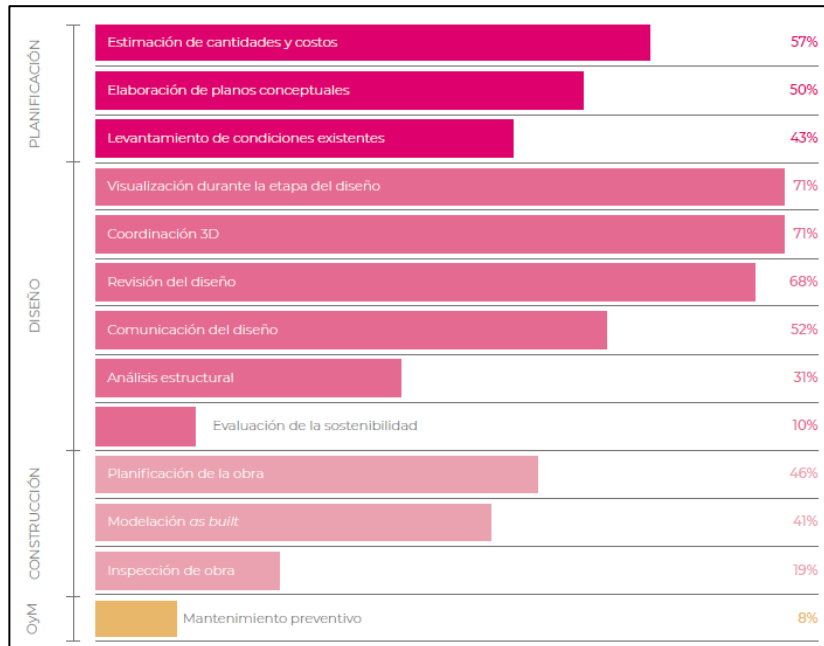
Fuente. Banco Interamericano de Desarrollo, Latam, & FIIC, 2020

Se puede identificar que Chile y Brasil, son los países que tienen mayor experiencia y uso de esta metodología en comparación con los demás países de la zona. Colombia, Argentina y Uruguay son los siguientes en esta lista, no obstante, ningún país cuenta con una normatividad que se exija en proyectos públicos. La mayoría de los requerimientos de esta metodología se genera en el sector privado de la construcción.

Uno de los puntos más importantes a tener en cuenta y a analizar, es el uso que las organizaciones le están dando a esta nueva forma de trabajo. El tipo de uso se puede definir como las clases de tareas que se beneficiaran a través de modelos con ciertas características definidas por los usuarios, es decir, la definición de las características específicas de los modelos [71].

Se identifican los usos de mayor preferencia por las organizaciones que trabajan bajo estándares de construcción digital (véase la Figura 8). Es importante señalar que solo el 10% utiliza esta forma de trabajo en la evaluación de la sostenibilidad de las edificaciones, siendo el segundo porcentaje más bajo después de labores de mantenimiento preventivo. Usualmente, se utiliza el BIM para revisiones de diseño y estimación de cantidades.

Figura 8. Tipos de uso de la Metodología BIM en Latinoamérica



Fuente. Banco Interamericano de Desarrollo et al., 2020

Según la Cámara Colombiana de la Construcción, el BIM se encuentra en pleno auge a través de la implementación por parte de un grupo de empresas constructoras del sector privado que han visto el uso de dicha forma de trabajo como una oportunidad para aumentar la eficiencia de los proyectos y de los recursos que se ponen a disposición para ejecutar las obras de construcción. Este grupo de empresas y fundadores encargados de poner en marcha el BIM en Colombia, se conoce como BIM FORUM COLOMBIA.

Dentro de los objetivos específicos que se plantea este grupo de trabajo en conjunto con la industria de la construcción, el gobierno nacional y la academia, se pueden mencionar los siguientes [72]:

- Elevar la utilización del BIM por medio de la divulgación de conocimiento y estandarización de documentación técnica que sirva como guía para el uso de dicha metodología en las organizaciones.
- Agrupar a los diferentes participantes entre ellos constructores, contratistas y diseñadores para generar aptitudes que promuevan la correcta gestión del BIM.

Con base a lo mencionado anteriormente respecto al estado en la implementación de la metodología BIM alrededor del mundo y teniendo en cuenta que el uso de esta técnica se ha enfocado minimamente en la evaluación de proyectos de sostenibilidad, se abordó el estado del arte desde la perspectiva de las investigaciones articulando el BIM y el concepto de construcciones sostenibles.

Existen parametros que califican el concepto de construcción sostenible a partir de parametros tales como ahorro de agua y energia, nuevos materiales y calidad al interior de las edificaciones. Los dos grandes grupos de certificaciones que validan lo mencionado son BREEAM y LEED.

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) fue establecida en el año 1990 por el Reino Unido y tiene como principal objetivo la evaluación de sostenibilidad considerando el ciclo de vida del proyecto, es decir, las etapas de factibilidad, diseño, construcción y operación.

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) nació en Estados Unidos en el año 1998 por parte del Consejo de Construcción Sostenible de este país y tiene como finalidad la investigación de parámetros de construcción sostenible que se apliquen a nuevos edificios. Esta certificación varía de acuerdo a unos niveles de puntajes establecidos teniendo en cuenta criterios de sostenibilidad [73].

Dentro de las principales aplicaciones que presentan la articulación del BIM y los parámetros de sostenibilidad, se puede mencionar el análisis energético en aspectos de luz y agua, utilización de materiales sostenibles y su cuantificación detallada. Sin embargo, los software utilizados para la aplicación de esta metodología aun no cuentan con un listado extenso de indicadores de sostenibilidad, por lo tanto se requiere del uso de aplicaciones externas que en algunos casos pueden presentar inconvenientes de compatibilidad [74].

Un primer acercamiento para la valoración de una edificación sostenible es el EIA (Estudio de Impacto Ambiental). Se han realizado investigaciones para la combinación de este estudio y el BIM a través del software Autodesk Revit, Dynamo y bases de datos proporcionadas por los EIA para el análisis de sostenibilidad y se ha observado que los procesos de interacción entre los diferentes programas son limitados. No obstante, BIM ha permitido la visualización de diferentes aspectos de forma rápida y lo coloca como una herramienta en potencial desarrollo [75].

A pesar de las dificultades mencionadas anteriormente y de la ausencia de configuraciones que presenten la integración de información del BIM y de la sostenibilidad, se ha abierto una ventana para no dejar de lado este tema de

investigación. El método consiste en definir dentro de las bibliotecas de materiales aspectos tales como características relacionadas con el impacto ambiental que genera el uso de un material para que los diseñadores consideren esta variable desde el inicio de la concepción de la edificación [76].

Es importante aclarar que el concepto de sostenibilidad no solo contempla la utilización de nuevos materiales o el ahorro de energía, por mencionar algunos criterios. También se tiene en cuenta la finalidad de los residuos generados y la posible reutilización de los mismos en otras etapas del proyecto, con el objetivo que los residuos no aprovechables sean mínimos.

El primer paso para evitar o minimizar la generación de residuos en un proyecto se encuentra en la etapa de diseño. En este punto se deberán tener en cuenta todas las especialidades, es decir, arquitectura, estructura e instalaciones. El BIM en su dimensión 4D, la cual está orientada a la duración del proyecto se puede enlazar al objetivo de la disminución y reutilización de residuos.

La organización de las actividades de diseño, definición de tiempos de construcción y manejo de residuos se puede incluir en diferentes actividades, tales como la coordinación de diseños para evitar reprocesos, programación de actividades de reutilización en el cronograma y la disposición de dichos residuos en actividades tales como obras exteriores o de urbanismo, donde los materiales están expuestos a condiciones menos críticas de estabilidad [77].

Además de lo anterior, los proyectos requieren la demolición de elementos provisionales para luego realizar la construcción de los elementos definitivos, un ejemplo de esto es la construcción de rampas para el acceso de vehículos en proyectos de oficinas o centros comerciales. Por esto, la etapa de diseño se convierte en la primera gran fase para lograr construcciones sostenibles, a través de la disminución de residuos y uso de materiales que generan una huella negativa en el medio ambiente.

Las diferentes dimensiones de la metodología BIM se interrelacionan con las etapas del ciclo de vida de un proyecto y no se deben considerar como líneas de trabajo y de investigación de forma independiente. Mediante la dimensión 5D, se pueden explorar alternativas en el control de presupuesto y cambios de diseño que se traducen en ahorros o sobre costos. Además, se podrá tener el flujo de dinero requerido para el proyecto según el avance en construcción del mismo.

Respecto a la dimensión 6D, dentro de las principales labores que se pueden realizar, se encuentran las simulaciones de luz natural y artificial al interior de la edificación, así como el manejo de residuos y aprovechamiento de los mismos. Sin

embargo, como se mencionó anteriormente, esta etapa de la metodología BIM aún se encuentra en desarrollo y las investigaciones realizadas no han tenido los resultados esperados [78].

4. ALCANCES Y LIMITACIONES

4.1. ALCANCES

- ✓ El presente trabajo de grado contempla el diseño arquitectónico, estructural y de instalaciones eléctricas e hidrosanitarias de un prototipo de vivienda orientado al concepto de sostenibilidad a partir de la búsqueda de nuevos materiales y sistemas que permitan realizar el ahorro de energía, agua y materiales para la construcción de la vivienda.
- ✓ La implementación de la metodología BIM en el proyecto consiste en la coordinación de las diferentes disciplinas que intervienen en el mismo. Entiéndase disciplinas como las áreas de la arquitectura y la ingeniería civil que en conjunto permiten el desarrollo de un proyecto de construcción. A partir del software Revit, Navisworks y Project, se presentará el modelo tridimensional integrado con tiempos de ejecución y costo del proyecto.
- ✓ Se presentarán dos prototipos de vivienda, uno con las condiciones actuales que permiten las normas de construcción vigentes en Colombia y el segundo teniendo en cuenta los diferentes materiales y tecnologías analizadas en las diferentes partes del mundo. Los dos prototipos tendrán modelo 3D y análisis de costos, sin embargo, el prototipo seleccionado para la comunidad de Mochuelo Bajo tendrá lo mencionado anteriormente y la simulación 4D (planificación).

4.2. LIMITACIONES

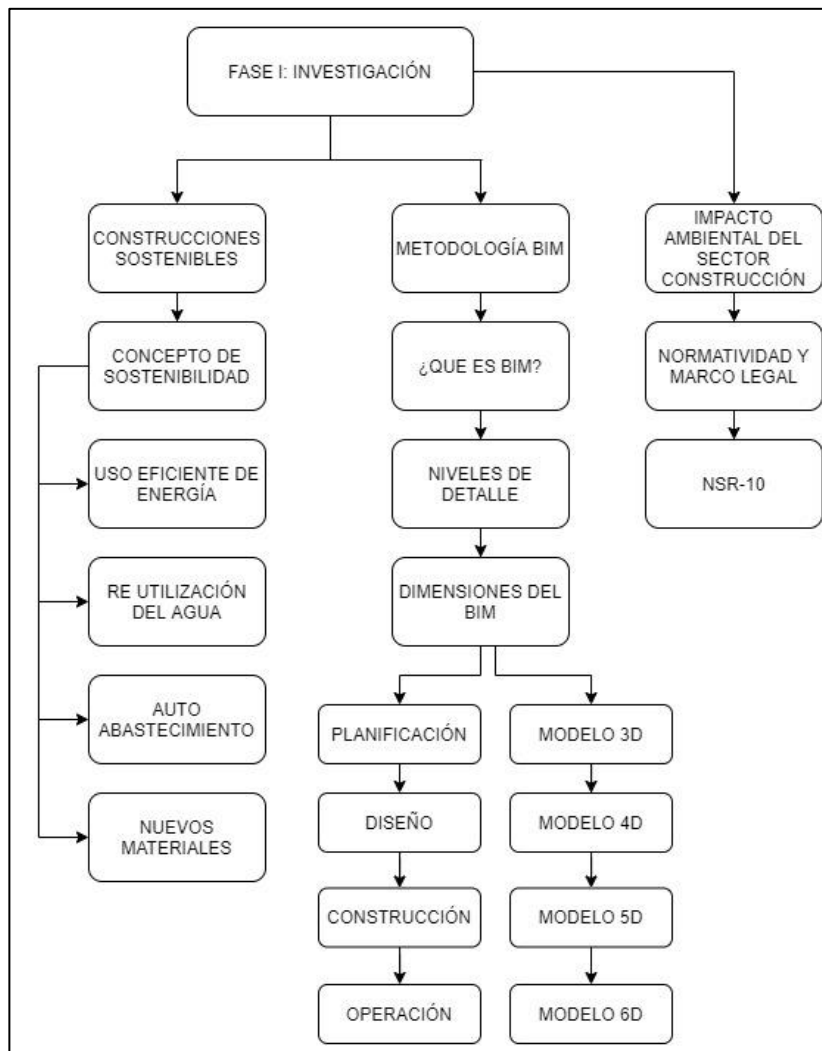
- ✓ Teniendo en cuenta que alrededor del mundo se han realizado investigaciones sobre nuevos materiales que tienen un impacto ambiental menor a los materiales tradicionales que se han utilizado en el sector de la construcción, pero, que no están avalados por la normatividad colombiana, se hace necesario tener en cuenta el reglamento NSR-10 para la selección de materiales del prototipo de vivienda para la comunidad de Mochuelo Bajo.
- ✓ Teniendo en cuenta la situación actual que está pasando el mundo a raíz de la propagación del virus COVID-19, una de las limitaciones más importantes a considerar en el desarrollo de la presente propuesta de trabajo de grado es la interacción con la comunidad de Mochuelo Bajo. Lo anterior debido a que lo recomendado por las entidades gubernamentales es en lo posible no salir de los lugares de residencia.

5. METODOLOGIA

El presente trabajo de grado se encuentra dividido en dos fases: la fase de investigación y la fase de diseño.

La fase de investigación (véase la Figura 9), se divide en dos pilares conceptuales en donde se relacionan los conceptos de construcciones sostenibles y metodología BIM. Teniendo en cuenta el objeto de la investigación, se realiza la consulta en bases de datos, artículos científicos, trabajos de grado y contenido web para conocer el estado actual de los conceptos mencionados.

Figura 9. Metodología - Fase de Investigación



Fuente. Los Autores

En esta fase, se plantea la articulación de conceptos tales como el impacto ambiental del sector construcción y la normatividad vigente para el diseño de edificaciones, debido a que se consideró que el prototipo de vivienda debe cumplir con el reglamento NSR-10 para garantizar que sea construible y no solo una idealización plasmada en un documento.

Teniendo en cuenta los conceptos mencionados anteriormente, se realiza la búsqueda de materiales y procesos constructivos que cumplan los dos parámetros a tener en cuenta en el diseño: materiales sostenibles y materiales que cumplan con lo exigido en la NSR-10.

En dado caso en que se encuentre un material sostenible que no cumpla con los criterios de exigidos en la norma mencionada anteriormente, se dará prioridad a aquel que tenga el impacto ambiental más bajo pero que este dentro de los aprobados por la NSR-10.

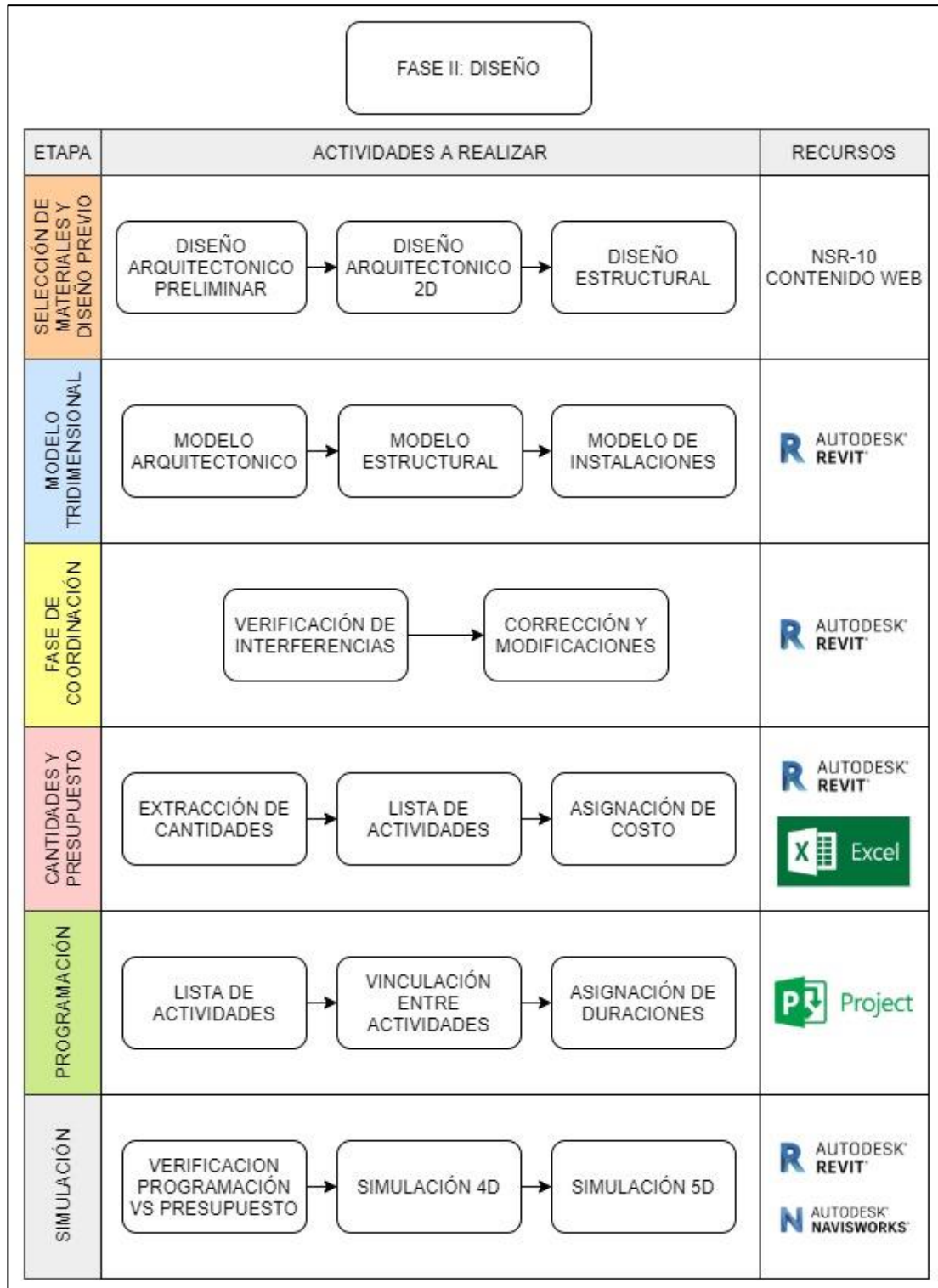
La fase 2 del presente trabajo de investigación se orienta al diseño del prototipo de vivienda sostenible teniendo en cuenta el uso de la metodología BIM, en este caso por medio del software Autodesk Revit y Autodesk Navisworks. Además, se utilizarán los programas Microsoft Excel y Microsoft Project para la presentación del presupuesto y programación de obra del prototipo en mención.

Se observan las diferentes etapas y pasos que se van a seguir para la consecución de los objetivos del trabajo de investigación (véase la Figura 10). La primera etapa, denominada como selección de materiales y diseño previo se enlaza con la fase de investigación. En este caso se tiene en cuenta la localización del proyecto para conocer las necesidades de la comunidad, problemas y oportunidades de mejora.

Las etapas posteriores consisten en la modelación tridimensional de la vivienda, coordinación de las diferentes especialidades tales como estructura, arquitectura e instalaciones para verificar que no existan interferencias entre los diferentes elementos. Por último, se relacionan las fases de extracción de cantidades para establecer el presupuesto de construcción de la vivienda y luego el tiempo que se debería considerar para construir este prototipo a escala real.

Por último, se encuentra la etapa de simulación constructiva y de tiempos. Es importante mencionar que el uso de este modelo será para cuantificación, verificación de interferencias, simulaciones y entrega de planos. Por lo anterior, se considera un nivel de detalle medio debido a que no es un modelo para uso de mantenimiento o gestión del proyecto después de la fase de construcción del mismo.

Figura 10. Metodología - Fase de Diseño



Fuente. Los Autores

6. RESULTADOS

Teniendo en cuenta la secuencia de actividades planteadas en la Metodología y a partir de la utilización del software mencionado, se procedió a realizar la modelación de los dos prototipos de vivienda sostenible para la comunidad de Mochuelo Bajo. A continuación, se muestran los resultados para la cada modelo:

6.1. MODELO 1

La concepción de este modelo se basa en considerar los objetivos planteados en el presente trabajo de grado, respecto a ahorro de energía, agua, nuevos materiales y parámetros de construcción según la normatividad colombiana. Además, se tuvo en cuenta el costo total del proyecto. A continuación, se realiza una explicación detallada de cada componente del prototipo:

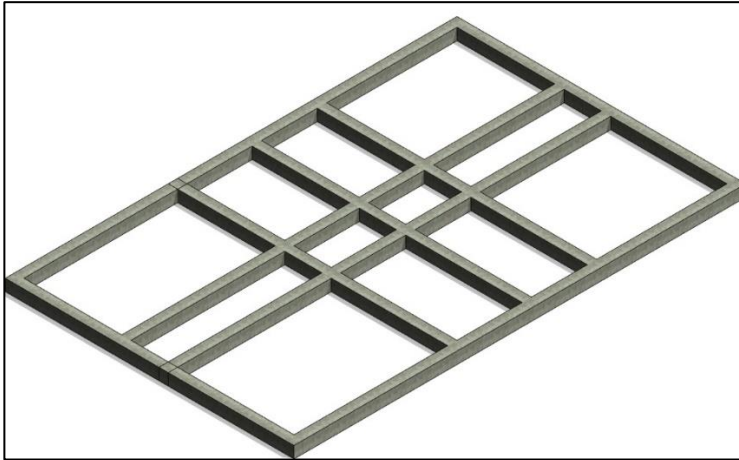
• CIMENTACIÓN Y SISTEMA ESTRUCTURAL

El presente trabajo de grado tiene como objetivo el diseño de un prototipo de vivienda con criterios sostenibles para la comunidad de Mochuelo Bajo en la ciudad de Bogotá cumpliendo lo dispuesto en el reglamento NSR-10 para construcciones sismorresistente.

Con base en lo anterior, la selección de materiales y sistemas que componen la vivienda se realizó considerando las nuevas tecnologías en el sector de la construcción y el cumplimiento de la norma antes mencionada. Siguiendo los lineamientos del Título E – Casas de Uno y Dos Pisos en donde se establecen condiciones de diseño para este tipo de viviendas en materiales tales como mampostería confinada y bahareque, se seleccionó el sistema de cimentación y estructural para la vivienda [79].

La cimentación se propone con un sistema de vigas formando una cuadrícula con distancias no mayores a 4.0 m. Respecto a las dimensiones de las vigas de cimentación, estas tendrán un ancho de 0.25 m y una altura de 0.20 m y deberán construirse con concreto de resistencia f'_c de 21 MPa. El esquema general de la cimentación (véase la Figura 11).

Figura 11. Sistema de Cimentación del Prototipo



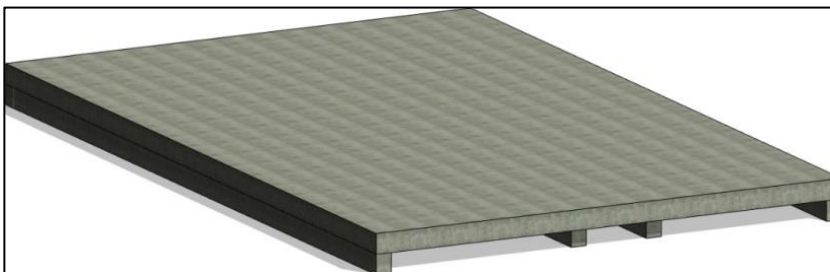
Fuente. Los Autores

Respecto al acero de refuerzo, se propone el uso de 4 varillas No. 4 para el refuerzo longitudinal y estribos No. 3 cada 0.10 m. La especificación de este acero debe cumplir un F_y de 420 MPa y debe ser corrugado.

Encima de las vigas de cimentación, se dispone de una placa de contrapiso de 0.20 m de altura con el fin de introducir las instalaciones eléctricas y de suministro de agua de la vivienda (véase la Figura 12). Esta placa será reforzada con varillas No. 5 formando cuadrículas de 0.15 m * 0.15 m. El concreto para este elemento será de igual resistencia que el dispuesto en las vigas de cimentación.

A pesar que el concreto es un material que genera un impacto ambiental negativo al medio ambiente, es difícil encontrar un material que tenga un mejor comportamiento ante la intemperie y en contacto con el suelo. Además, es importante mencionar que su costo es menor comparado con otros insumos y es el que se puede utilizar según la NSR-10.

Figura 12. Placa de Contrapiso del Prototipo



Fuente. Los Autores

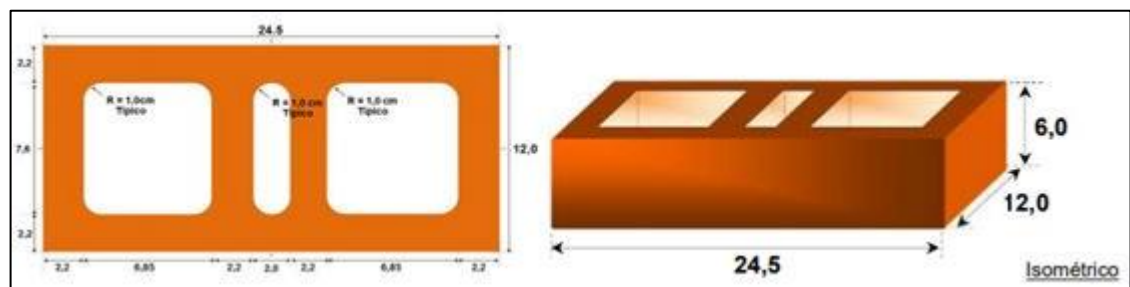
Para los muros de fachada e interiores se propone el uso de mampostería estructural. Dentro de las principales razones para hacer uso de este tipo de sistema se puede mencionar la no utilización de estructuras compuestas por vigas y columnas que requieren mayor consumo de recursos tales como concreto, acero de refuerzo, uso de formaleta y el transporte que se debe tener en cuenta para suministrar estos insumos al proyecto.

En la zona de estudio se observaron fábricas productoras de ladrillos y bloques en un rango no mayor a 5 km, por lo tanto, se consideró que la mejor opción para estos muros es la mampostería. Si bien es cierto, este tipo de mampostería requiere de acero de refuerzo y un tipo de concreto fluido para fundir celdas dentro de los ladrillos, la comparación entre el concreto a utilizar para vigas y columnas es superior en un 60%-70% que el concreto que se utilizará para las celdas.

Lo anterior, teniendo en cuenta un sistema de columnas apropiado para esta vivienda. Además, de una u otra forma con un sistema de columnas se utilizarían muros para la fachada. Por estas dos razones se consideró a la mampostería estructural como la mejor opción y la que menor impacto ambiental presentaba.

Teniendo en cuenta los criterios mencionados en el Título D – Mampostería Estructural, se definieron las condiciones de los elementos. La unidad de mampostería a utilizar es de perforación vertical con una resistencia a la compresión de 30 Mpa y con las siguientes dimensiones (véase la Figura 13):

Figura 13. Especificación de Ladrillo del Prototipo

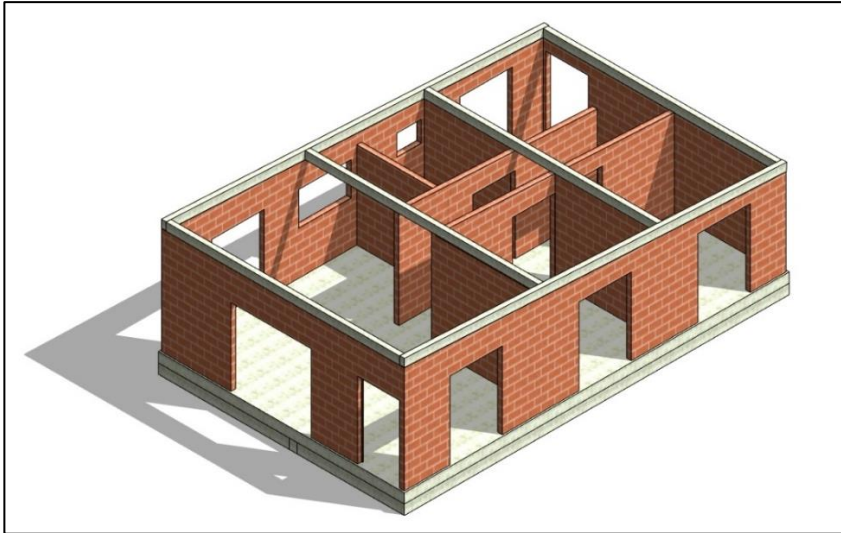


Fuente. <https://www.santafe.com.co/wp-content/uploads/2021/01/FT-LPRL6-LPRL6M-LPRL6ACC.pdf>

Con base en esta especificación se indica que la longitud máxima entre las celdas que se deben fundir no debe ser mayor a 0.80 m y el mortero de relleno será de una especificación f'_{cp} de 17.5 Mpa. Respecto al acero de refuerzo se deberá tener en cuenta en cada celda una varilla No. 4 de acero corrugado con un F_y de 420 Mpa. Para el mortero de pega, se utilizará una especificación igual que la del

mortero de relleno. La distribución de los muros en mampostería estructural para el prototipo de vivienda (véase la Figura 14).

Figura 14. Sistema de Muros del Prototipo



Fuente. Los Autores

Es importante mencionar que para garantizar el comportamiento estructural de la vivienda y el apoyo de la estructura de la cubierta se deben realizar vigas de amarre en la parte superior de la mampostería con unas dimensiones de 0.12 m de ancho y 0.20 m de alto. Para este caso se deberá reforzar con 2 varillas No. 4 para el refuerzo longitudinal y estribos No. 3 cada 0.10 m.

- **APROVECHAMIENTO DE AGUA E INSTALACIONES HIDROSANITARIAS**

Uno de los principales aspectos a tener en cuenta en las construcciones sostenibles es el manejo del agua al interior de la vivienda y la oportunidad de reúso de este recurso, teniendo en cuenta tratamientos adecuados y no comprometiendo la salud de las personas que se alojaron en el prototipo.

En la investigación realizada en el estado del arte se observó que las tecnologías actuales se orientan a la recolección del agua de lluvia en aquellas zonas donde las condiciones climáticas son favorables para proponer sistemas de este tipo. La comunidad objeto de estudio, es decir, Mochuelo Bajo presenta valores de precipitación que se pueden considerar para implementar sistemas de recolección de aguas de lluvia.

A partir de la información obtenida por medio del Sistema De Alerta (Sire) por la Alcaldía Mayor De Bogotá respecto a los valores de precipitación y teniendo en cuenta la estación meteorológica llamada UAN USME, se relacionan los valores de precipitación para la zona de Mochuelo Bajo (véase la Tabla 2).

Tabla 2. Información Hidrometeorológica Estación UAN USME

INFORMACION HIDROMETEOROLOGICA - SISTEMA DE ALERTA (SIRE) - ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ												
VALORES DIARIOS DE PRECIPITACIÓN (mm)												
ESTACIÓN: UAN USME LOCAL: USME												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2011	25.6	67.8	118.3	191.3	118.9	69.2	72.8	33	43.2	130	143.2	102.5
2012	46.5	40.9	103.4	133.3	55.5	49.9	82.9	60.9	33.3	100	35.8	49.5
2013	2.8	68.7	35.3	55	74.2	33.3	84.3	44.9	23.6	58	109.6	36.7
2014	14.9	16.6	28.6	62.7	53.7	118.4	89	48.1	27.9	50.1	66.4	42
2015	9.8	31.4	46.9	34.3	31.5	116.5	81	41.7	36.7	16.8	35.7	5.4
2016	4.9	39.2	40.6	80.2	99.9	34.3	42.3	65.4	65.7	42.1	82.6	24.3
2017	39	33.9	91.7	33.4	102.6	56.8	62.4	66.6	12.9	56.5	56.4	40.6
2018	21	8.3	48.6	105.4	92.9	53.4	83.3	40.9	48.7	47.9	48	1.3
2019	5.2	9.2	52	51.3	39.4	118.9	90.3	69.5	49.5	83.7	80.2	30.1
2020	33.9	36.9	32.9	37.5	65.3	113.7	91.6	44.6	77	17.5	203.3	27.4
PROMEDIO MENSUAL	20.36	35.29	59.83	78.44	73.39	76.44	77.99	51.56	41.85	60.26	86.12	35.98

Fuente: Sistema de Alerta (SIRE) - Alcaldía Mayor de Bogotá

A partir de la información relacionada se puede estimar el agua de lluvia que se puede aprovechar en una vivienda. Diversos autores y organizaciones han generado expresiones y ecuaciones que permiten realizar dicha estimación y establecer datos que permitan cuantificar la reutilización de este recurso.

Antes de iniciar el diseño de este sistema, se debe conocer la cantidad de agua que requiere una persona en el día para actividades tales como aseo personal, cocción de alimentos, uso del baño, lavado de ropa y demás actividades como aseo del lugar de residencia. Se aclara que para este trabajo de grado se considera el uso del agua de lluvia únicamente para los sanitarios, aseo al interior de la vivienda y mantenimiento de la huerta ecológica.

La Resolución 0330 de 2017 establece la dotación neta que debe garantizarse para el consumo de las personas a partir de la altitud del lugar en donde se suministre el agua (véase la Tabla 3). Esta información sirve para determinar la

demanda de las personas respecto a las actividades o usos que se le dará al sistema de recolección de agua lluvia [80].

Tabla 3. Dotación Neta

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente. C. y T. C. Ministerio de Vivienda, 2017

Existen diversas fuentes para establecer el consumo de agua en actividades tales como descarga de sanitarios, aseo y riego de la huerta ecológica. Para este trabajo de investigación, se tomó la información relacionada en la Guía Para el Diseño de Edificaciones Sostenibles (véase la Tabla 4).

Tabla 4. Uso Doméstico de Agua Por Porcentajes

Uso	Porcentaje (%)
Aseo personal (Ducha, lavado de manos)	30%
Cocina (lavado de platos, consumo propios)	22%
Descarga sanitaria	20%
Lavado de ropa	21%
Otros (Lavado de pisos, jardín, etc)	7%

Fuente. Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Pontificia Bolivariana., 2015

Considerando los datos anteriores, se procedió a realizar el cálculo de la demanda de agua para estos usos (véase la Ecuación 1) dada por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente con la Guía de Diseño Para Captación del Agua Lluvia:

Ecuación 1. Cálculo de Demanda Mensual

$$Di = \frac{Nu * Nd * Dotación}{1000}$$

Fuente. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; Organización Panamericana de la Salud, 2001

Donde:

Di: Demanda mensual en m³.

Nu: Cantidad de habitantes de la vivienda.

Nd: Numero de dias por mes.

*Dotación: Dotación en $\frac{L}{\text{Habitante} * \text{Día}}$*

Una vez obtenida la demanda requerida, se debe conocer la cantidad de agua que aporta la precipitación y que se puede recolectar teniendo en cuenta el material de la cubierta y el área de la cubierta [81]. Se puede conocer la cantidad de agua que puede aportar la lluvia sobre la zona de estudio (véase la Ecuación 2).

Ecuación 2. Abastecimiento Mensual del Sistema de Recolección

$$Ai = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000}$$

Fuente. Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente; Organizacion Panamericana de la Salud, 2001

Donde:

Ai: Abastecimiento mensual en m³.

Ppi: Precipitación mensual en mm.

Ce: Coeficiente de esorrentia segun el material de la cubierta.

Ac: Area de la cubierta en m²

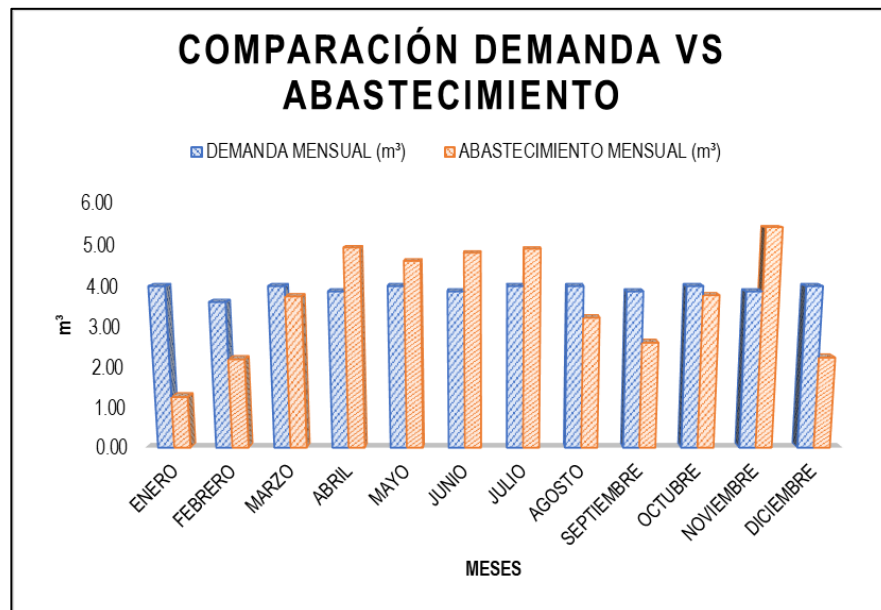
Los resultados obtenidos se relacionan (véase la Tabla 5 y Figura 15), tomando en cuenta los valores de precipitación y las ecuaciones relacionadas en líneas anteriores.

Tabla 5. Resultados de Demanda y Abastecimiento Mensual

MES	DÍAS MES	PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)	DEMANDA USO (L/día)	DEMANDA MENSUAL (m³)	ABASTECIMIENTO MENSUAL (m³)	%
ENERO	31	20.36	32.40	4.02	1.28	32%
FEBRERO	28	35.29	32.40	3.63	2.22	61%
MARZO	31	59.83	32.40	4.02	3.77	94%
ABRIL	30	78.44	32.40	3.89	4.94	127%
MAYO	31	73.39	32.40	4.02	4.62	115%
JUNIO	30	76.44	32.40	3.89	4.82	124%
JULIO	31	77.99	32.40	4.02	4.91	122%
AGOSTO	31	51.56	32.40	4.02	3.25	81%
SEPTIEMBRE	30	41.85	32.40	3.89	2.64	68%
OCTUBRE	31	60.26	32.40	4.02	3.80	94%
NOVIEMBRE	30	86.12	32.40	3.89	5.43	140%
DICIEMBRE	31	35.98	32.40	4.02	2.27	56%
PROMEDIOS	30	58.13	32.40	3.94	3.66	93%
MINIMOS	28	20.36	32.40	3.63	1.28	32%
MAXIMOS	31	86.12	32.40	4.02	5.43	140%

Fuente. Los Autores

Figura 15. Comparación Demanda Vs Abastecimiento



Fuente. Los Autores

La comparación entre la demanda y el abastecimiento mensual indica que se puede producir un aprovechamiento de entre el 32% y 93%, teniendo en cuenta los valores mínimos y medios de lo que aportan las aguas lluvias. Con el valor

medio que es aproximadamente 93%, es decir, un volumen de 3.66 m³. Se determina que la mejor opción por costos y espacio para el prototipo de vivienda sostenible es utilizar este volumen para abastecer la demanda requerida. Se aclara que no se utilizará el agua de lluvia para el lavado de ropa debido a que se requiere de un tratamiento e investigación adicional que no se contempló en el alcance del presente trabajo de investigación.

Una vez definido el sistema de recolección de aguas lluvias, se procedió a realizar el diseño de las instalaciones hidrosanitarias de la vivienda teniendo en cuenta la normatividad colombiana, es decir, la Norma Técnica NTC 1500 (Código Colombiano de Fontanería) y el libro Instalaciones Hidrosanitarias y de Gas Para Edificaciones del autor Rafael Pérez Carmona.

Es importante señalar que para el diseño hidráulico de las redes se contempló un baño con ducha, calentador, lavadora, lavaplatos, estufa y la conexión del tanque que recolectará el agua lluvia hacia el sanitario para el aprovechamiento de este recurso. Además, se colocará un punto de acceso del agua recolectada en la lluvia para riego de la huerta ecológica y aseo de zonas al interior de la vivienda.

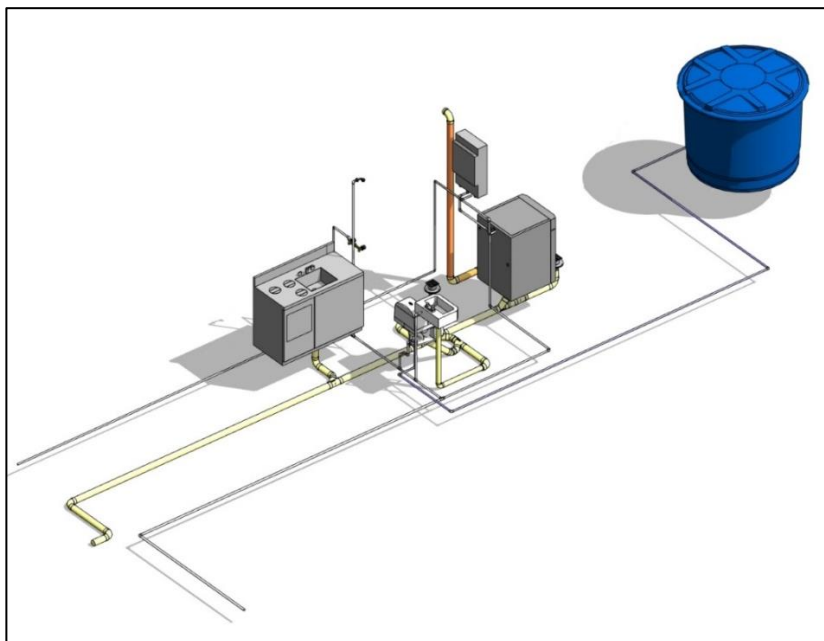
Existen diversas metodologías para el diseño de la red de suministro de agua potable, una de ellas es el Método de la Ruta Crítica. Este método consiste en realizar el diseño de las tuberías considerando puntos de agua usados en la hora más crítica de la vivienda, es decir, la hora donde la mayor cantidad de puntos se están utilizando de manera simultánea.

Con base al método mencionado anteriormente, se realizó el análisis hidráulico y se determinó que la tubería de suministro para la vivienda será de PVC en un diámetro de $\frac{3}{4}$ ". Respecto al suministro de agua caliente, se validó el mismo diámetro y se evidenció que cumplía los criterios de diseño hidráulico.

Para el drenaje de aguas residuales se encontró que el diámetro óptimo es de 3" con una pendiente mínima del 2% para una tubería PVC, garantizando una fuerza de arrastre óptima para los sólidos. Teniendo en cuenta que se debía garantizar suministro de gas, siguiendo los criterios de la NTC 1500, se diseñó esta red con un diámetro de $\frac{1}{2}$ " para una tubería de cobre.

El esquema en 3D de las instalaciones hidrosanitarias, gas y el sistema de recolección de las aguas de lluvia para reúso en los sanitarios (véase la Figura 16). Además de lo anterior, se relacionan los aparatos sanitarios que se tuvieron en cuenta para el diseño de esta disciplina.

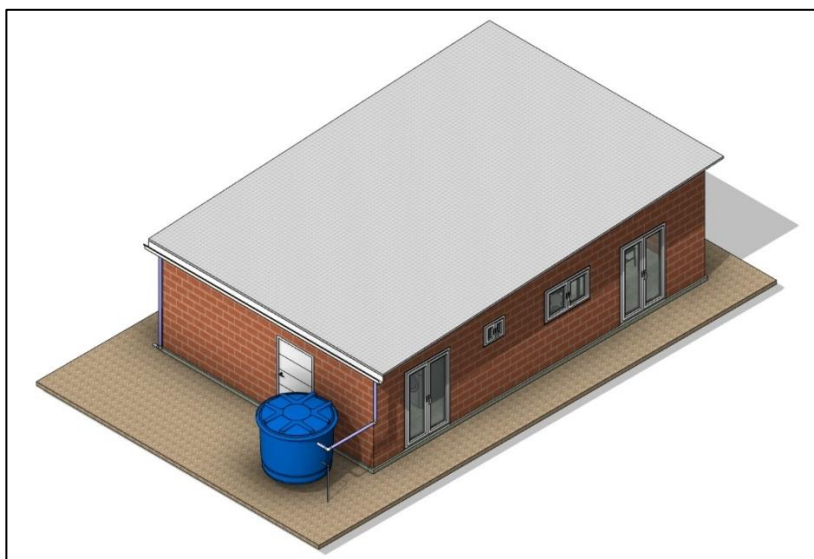
Figura 16. Instalaciones Hidrosanitarias del Prototipo



Fuente. Los Autores

Se observa la recolección del agua de lluvia (véase la Figura 17), proveniente de la cubierta para ser almacenada en un tanque con capacidad de 2000 litros y posteriormente abastecer el sanitario de la vivienda.

Figura 17. Recolección de Agua Lluvia del Prototipo



Fuente. Los Autores

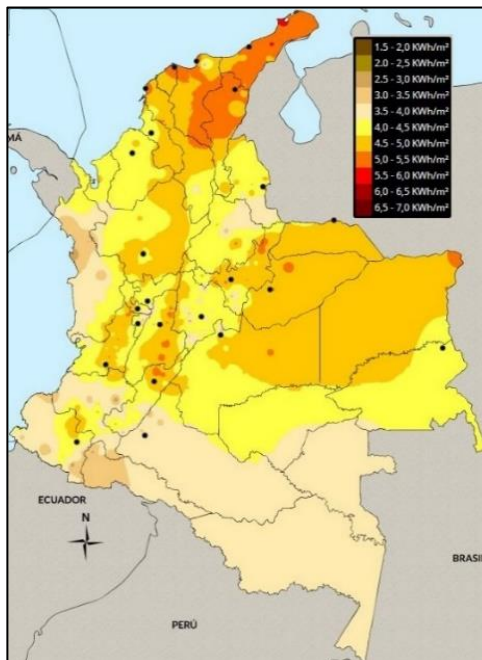
Es importante mencionar que, con la implementación de este sistema de recolección de agua de lluvia, el valor a pagar por el uso del agua a la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá por parte de los propietarios de la vivienda se puede reducir en un 30%. Lo anterior generaría un ahorro para amortizar el pago para implementar el sistema de recolección en mención.

Lo mencionado anteriormente hace referencia a nivel micro de la vivienda, debido a que se debe analizar que reutilizar este tipo de recurso genera una disminución de energía requerida para transportar las aguas residuales al destino que disponga la empresa de Acueducto y Alcantarillado.

• SISTEMA DE ENERGÍA

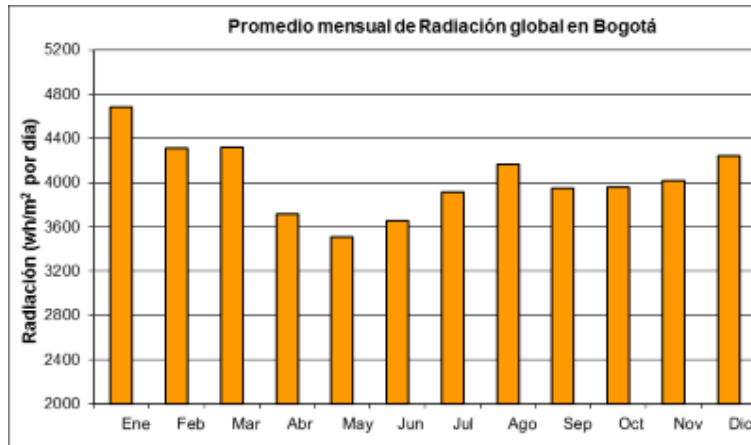
La tecnología que se emplea para utilizar las celdas fotovoltaicas como una metodología aplicable de sustentación de energía, ha bajado en costos considerablemente en los últimos años, por lo que es más fácil de incorporar estas tecnologías a los estilos de vida que se tienen actualmente. Una ventaja de implementar estos sistemas en países como Colombia, es que, al encontrarse en una zona tropical se recibe una buena radiación solar (véase la Figura 18). En Bogotá en promedio se recibe de 3.5 a 4.5 kWh/m² de radiación solar (véase la Figura 19). Esto indica que, de una manera constante, las ondas solares que se generan a diario producen energía solar que no se aprovecha.

Figura 18. Radiación solar en Colombia



Fuente. <http://www.ideam.gov.co/>

Figura 19. Radiación solar en Bogotá



Fuente. <http://www.ideam.gov.co/>

Por otra parte, gracias a la resolución 030 de 2018, todos los usuarios de alguno de los sistemas de energía solar pueden “inyectar” la energía extra que generan sus sistemas a la red de fluido eléctrico de las estaciones de las ciudades, siempre que estas no superen los 1000 kWh. Es decir, que la energía se vuelve más accesible a cualquier persona natural que tenga un sistema de energía renovable, pues esta “inyecta” energía cuando le sobre, y recibe energía cuando la necesite (en horas de la noche) esto muestra que es beneficiada en tal sentido.

Como el nivel de confiabilidad de energía en Bogotá es bueno, el sistema recomendado para los ciudadanos que integren un sistema de energía sustentable es la instalación ‘on-grid’, en otros términos, es el sistema que está conectado con la red eléctrica de las estaciones de la ciudad. Con esto se garantiza que no se necesitan baterías para almacenar la energía que se produce como en instalaciones ‘off-grid’ ya que la red eléctrica de las ciudades respalda al sistema.

Lo anterior funciona porque los paneles solares en horas del día, producen energía fotovoltaica por la radiación solar que reciben y la convierte en corriente directa, que es una variación de la corriente eléctrica que se usa comúnmente en los hogares. Para poder usar esta electricidad para usarla con los electrodomésticos que se usan en el país, esta es convertida a través de inversores a corriente alterna. Después, esta corriente pasa por un medidor bidireccional que nos indica cuanta energía se produce y cuanta se ha consumido.

De manera que, aquí es donde el método se convierte en algo parecido a un crédito, pues en el día como no se consume toda la corriente que se genera, este exceso es “inyectado” a la red de suministro eléctrico de la ciudad. En la noche,

cuando es necesaria la corriente eléctrica para el uso de la casa, se toma la energía justa de la red eléctrica de la ciudad. Los pagos se informan en la factura mensual, que indica la cantidad de energía que se “inyecta” a la red y la cantidad de la que se consumió.

Para conocer cuál es la inversión en este tipo de sistemas, se determina en primer lugar cuanto es el porcentaje de energía que se desea que los paneles suplan, que oscilan entre el 30 y el 100%. Con la ayuda de un emulador de consumo de Enel-Codensa (véase la Figura 20 y Figura 21), el consumo mensual es de aproximadamente 90 kWh. En la ciudad de Bogotá, el precio de kWh en el mes es de 536,1 pesos. En otras palabras, al mes se paga 48.249 pesos. Al año sería 1.080 kWh que se consumen y se paga 579.000 pesos.

Figura 20. Electrodomésticos en el hogar



Fuente. <https://www.enel.com.co/es.html>

Figura 21. Simulación Consumo de energía



Fuente. <https://www.enel.com.co/es.html>

Con el análisis determinado anteriormente, se puede concluir que el consumo de energía eléctrica por hora es relativamente bajo. Con un sistema de celdas fotovoltaicas que genere un potencial nominal de 1200Wp es más que suficiente para cubrir la demanda que se necesita suplir. Con esto en cuenta, un conjunto de paneles que genere dicha cantidad o un poco más, es suficiente para abastecer a un hogar y poder “inyectar” lo que sobre a la red de la ciudad.

De manera que, con paneles solares de módulo policristalino (véase la Figura 22), que son aquellos que tienen un rendimiento óptimo con una baja irradiación solar y otras características que se acoplan a una ciudad como Bogotá, que generen entre 200 y 300 vatios, se puede adaptar un sistema de paneles solares estilo 2x2 o 2x3, esto depende de cuantas celdas cumpla la potencia nominal necesaria. Con 6 módulos de paneles de 260 vatios, se generará más que la cantidad de energía eléctrica suficiente.

Figura 22. Módulo policristalino JKM275PP



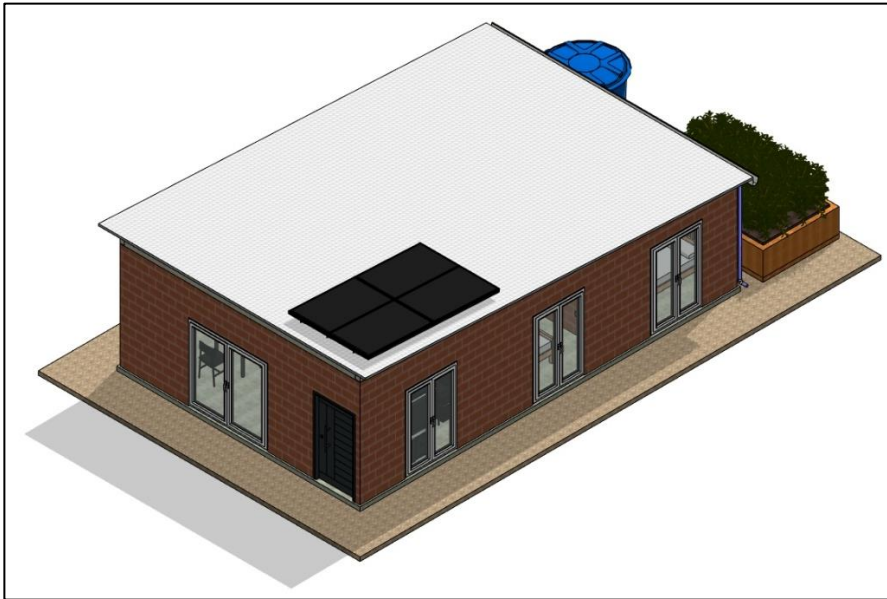
Fuente. Solar, 2015

Los precios del actual mercado en tecnología de celdas fotovoltaicas ofrecen muchas variedades de paneles con distintas características que se acomodan a las necesidades que se necesitan suplir en una ciudad como Bogotá. En promedio, los precios de una instalación de estos sistemas se encuentran entre 5.5 y 6 millones de pesos. Lo que significa que el retorno de dicha inversión estaría entre los 11 y los 12 años. Teniendo en cuenta la vida útil de los paneles que es de 20 a 25 años, significa que se tendrá ganancias durante 9 a 13 años.

De acuerdo con los cálculos realizados anteriormente, este sistema de celdas fotovoltaicas tiene un alto grado de beneficio en usuarios que no paguen demasiado en electricidad, ya que se pueden apreciar los beneficios de la inversión a mediano y largo plazo. De igual manera a beneficiarios que cuenten con algún beneficio o subsidio, este tipo de sistemas no es aplicable si se habla únicamente en términos económicos.

Se observa la ubicación de los paneles solares (véase la Figura 23) teniendo en cuenta la cercanía con el tablero de distribución eléctrica y el estudio solar, cuyos resultados se muestran en el apartado de iluminación.

Figura 23. Ubicación de Paneles Solares del Prototipo



Fuente. Los Autores

• ILUMINACIÓN

En cuanto a la iluminación de la vivienda, tanto para exteriores e interiores, la iluminación LED es la indicada, ya que presenta una gran eficiencia luminaria y su amplia vida útil son referentes, si se comparan con la iluminación tradicional. Así como, una reducción en la emisión de CO₂, ya que no cuentan con productos químicos [83]. También, son capaces de soportar cualquier tipo de clima ya que están diseñadas con materiales resistentes y porque funcionan a una baja temperatura.

El uso de este tipo de iluminación aporta un elemento fundamental que es el bajo consumo de energía eléctrica. Estudios establecen que las luces led consumen un 50% menos de energía y algunos modelos pueden ahorrar hasta un 90% comparándolos con la iluminación tradicional, halógena o fluorescente. Continuando con las comparaciones, la vida útil de las luces LED son de aproximadamente 40 mil horas, que es 20 veces más que una tradicional [84].

Por otra parte, los sistemas que usan iluminación LED son más brillantes que las otras alternativas (Incandescentes o halógenas) así usen la misma cantidad de

vativos (véase la Figura 24). En resumen, la relación costo/beneficio, determina que el uso de estas bombillas LED es muy beneficioso a mediano y largo plazo.

Figura 24. Equivalencias LED vs Tradicional

EQUIVALENCIAS LED vs ILUMINACIÓN TRADICIONAL							
LED	INCANDESCENTES Y HALÓGENAS	BAJO CONSUMO	TUBOS FLUORESCENTES	HALÓGENOS METÁLICOS	VAPOR DE SODIO	VAPOR DE SODIO SIN BALASTRO	LÚMENES
% AHORRO	90%	72%	64%	61%	73%	87%	
2w	20w	6w					80-120
3w	35w	8w					120-250
5w	40w	11w					280-380
6w	50w	13w	12w				360-450
7w	60w	15w	14w				450-600
9w	70w	18w	18w				600-800
10w	80w	20w	20w				750-850
12w	100w	25w	25w				800-950
13w	110w	30w	28w				900-1.000
15w	120w	40w	32w				1.100-1.300
18w	140w	50w	36w				1.250-1.500
20w	150w	60w	44w				1.600-1.800
25w	200w	70w	58w				1.850-2.050
30w	250w	80w	70w	60w	80w	250w	2.200-2.650
50w	400w	100w	120w	100w	120w	300w	3.000-4.000
80w	600w	150w		150w	200w	500w	6.000-7.500
100w	750w	200w		200w	250w	750w	9.000-10.000
120w	850w	250w		240w	300w	900w	10.500-12.000
150w	1000w	300w		300w	400w	1200w	13.000-15.000
200w	1500w	400w		400w	500w	1500w	18.000-20.000

Fuente. Kaltsidi, Fernández-Cañero, & Pérez-Urrestarazu, 2020

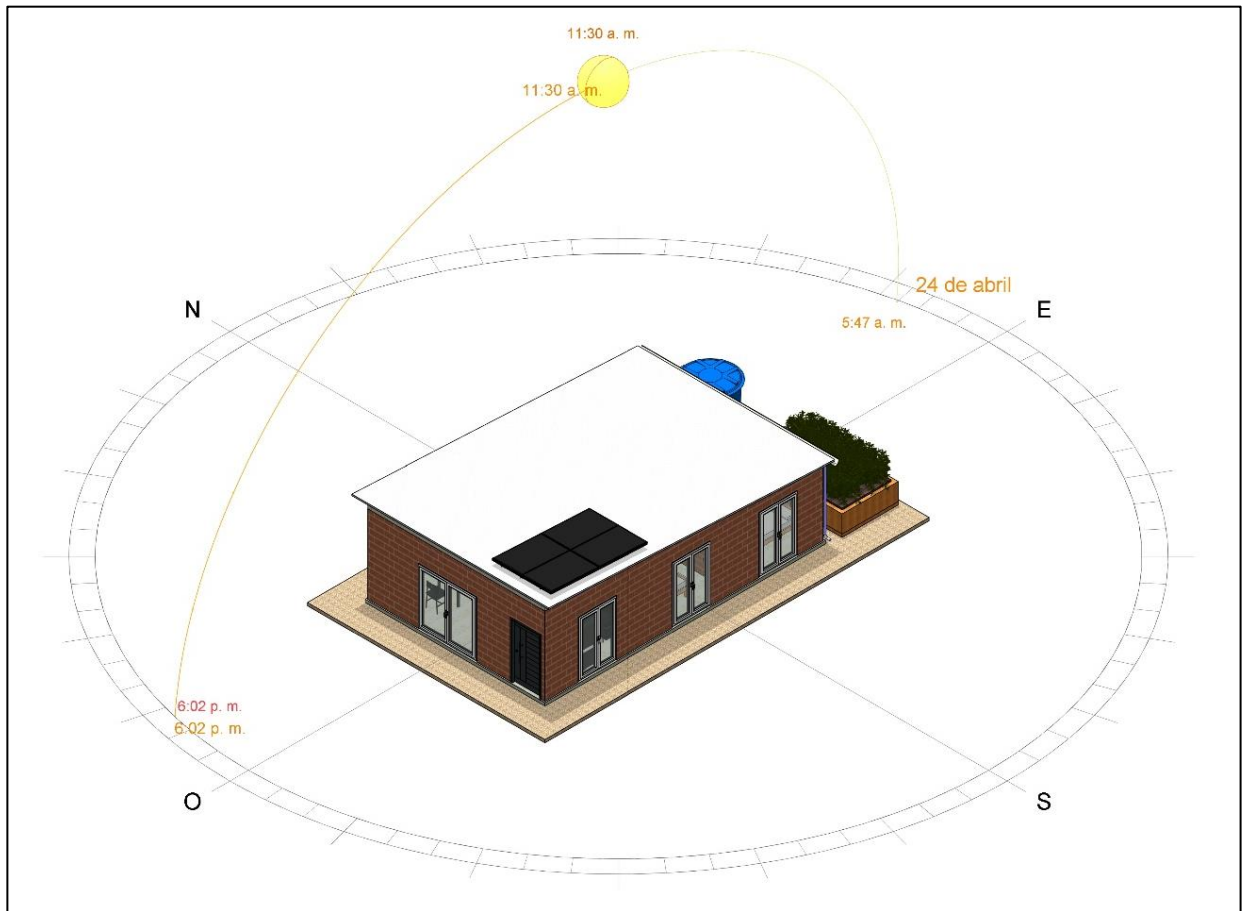
Consecuentemente, la iluminación LED tiene muchas ventajas que la hacen ideal para garantizar sostenibilidad para los hogares y la vida en el planeta. Puesto que, tienen un bajo consumo que genera un ahorro energético, su luz es clara y brillante lo que la hace más nítida, su emisión de calor es baja lo que evita sobrecargas, tiene una mayor vida útil, son bombillas ecológicas ya que no contienen mercurio, son usadas como iluminación decorativa, por último, son más resistentes ya que su diseño les permite soportar los golpes [85].

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos de la sostenibilidad es reducir el uso de energía y realizar el aprovechamiento de la luz natural, para complementar el aspecto del manejo de energía en el prototipo de vivienda sostenible se realizó un estudio solar por medio del software Autodesk Revit considerando las condiciones geográficas en donde se ubica la comunidad objeto de estudio.

Con base en los resultados de este estudio se planteó que la mejor opción para aprovechar la luz natural es la colocación de ventanas en gran parte de los costados de la vivienda y que estas tengan una especificación de gran altura para que la luz natural ingrese de forma completa. Además, se validó que, con la

orientación actual de la vivienda, la ubicación de los paneles solares permitirá satisfacer las necesidades de energía de los habitantes. Los resultados de este estudio (véase la Figura 25).

Figura 25. Resultados de Estudio Solar del Prototipo



Fuente. Los Autores

- **CUBIERTA**

En cuanto al techo, que es la parte fundamental de un hogar, es esencial la selección de una cubierta que se adecue a las condiciones ambientales del entorno y el uso que se le desee dar. Como se mencionó anteriormente en este informe, existen varios tipos de cubierta, y teniendo en cuenta la instalación de celdas fotovoltaicas, se debe escoger una cubierta que cumpla con los mínimos de seguridad, resistencia y confort.

Las cubiertas metálicas son una buena opción para los tejados en edificaciones, ya que presentan una resistencia a la oxidación, es fácil de instalar y como plus su manipulación no requiere de maquinaria pesada. No adsorbe la humedad por la

impermeabilidad que tiene. Además, tiene una prestación más que optima en lo arquitectónico y estructural por los perfiles que normalmente se trabajan.

Las tejas o láminas de acero galvanizado (véase la Figura 26) presentan muchas ventajas sobre los demás materiales que son utilizados para cubiertas, entre las más importantes se encuentran: son livianas, por ende, se puede trabajar con grandes luces; son durables en comparación con los demás materiales, son resistentes al fuego y al moho; no requiere mantenimientos constantes; algunos modelos cuentan con sistemas termo-acústicos; tiene acabados decorativos para cubiertas.

Figura 26. Lamina ACESCO Master 1000



Fuente. ACESCO, 2017

Como resultado, se escoge la teja de acero galvanizado, que son fabricadas con acero estructural de calidad grado 40, que cumple con la norma NTC 4011 y la norma colombiana de sismo resistencia NSR-10. Del mismo modo, el color de la cubierta será blanco perla, esto se debe a la teoría del color, ya que este color de teja rechaza el calor solar y garantiza un confort térmico al interior de la vivienda [86]. A pesar de que, tienen un costo elevado, su beneficio a largo plazo representa una mayor ganancia a nivel económico por los costos de mantenimiento que se ahorran con este tipo de material.

• HUERTA URBANA

Las huertas urbanas tienen muchos beneficios para el desarrollo sostenible y beneficios para la vida. Se producen alimentos orgánicos, limpios y sin químicos que afecten a la salud del consumidor. Por otra parte, el jardín botánico de Bogotá ofrece asesorías, capacitaciones y asistencias técnicas a las personas que quiera

dedicarse a la elaboración de dichas huertas. Adicional a esto, brindan los insumos necesarios para realizar las huertas y comparten su banco de semillas.

A su vez, con la implementación de huertas urbanas se puede instaurar programas socioeducativos que incentiven y motiven a desarrollar este tipo de proyectos como las huertas. Además, estos proyectos acercan a las comunidades, crean participación e integración social, generando un sentido de pertenencia, mejorando y fortaleciendo la calidad de vida de los beneficiarios. Al mismo tiempo, esta actividad puede tener un beneficio económico en este momento por el COVID-19, que contrarreste en algún modo la falta de empleo.

Todavía cabe señalar, que los espacios destinados a las huertas no son utilizados comúnmente por las personas. Dicho espacio debe ser adaptable y biodiverso que supla las necesidades del individuo o la comunidad. Así mismo, las huertas permiten los cultivos de diferentes legumbres y/o plantas aromáticas que se den en el piso térmico donde se encuentren, en este caso es un piso térmico frío que es donde se encuentra la ciudad de Bogotá. Así, por ejemplo, la diversidad de las plantas que pueden ser cultivadas son brócoli, lechuga, pimentón, curubas, fresas, plantas aromáticas y una que otras medicinales.

6.2. MODELO 2

En el alcance del proyecto se estableció la realización de dos modelos con el fin de tener dos alternativas para el prototipo de vivienda sostenible para la comunidad objeto de estudio. La diferencia principal de este modelo respecto al modelo 1, radica en la selección de alternativas que puedan satisfacer en mayor medida los aspectos de sostenibilidad relacionados con nuevos materiales, ahorro de energía y agua, sin embargo, se sigue teniendo en cuenta la normatividad colombiana para la construcción del prototipo.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se indica que el sistema de cimentación no tendrá modificaciones teniendo en cuenta el análisis estructural realizado con base a las cargas consideradas para los dos modelos.

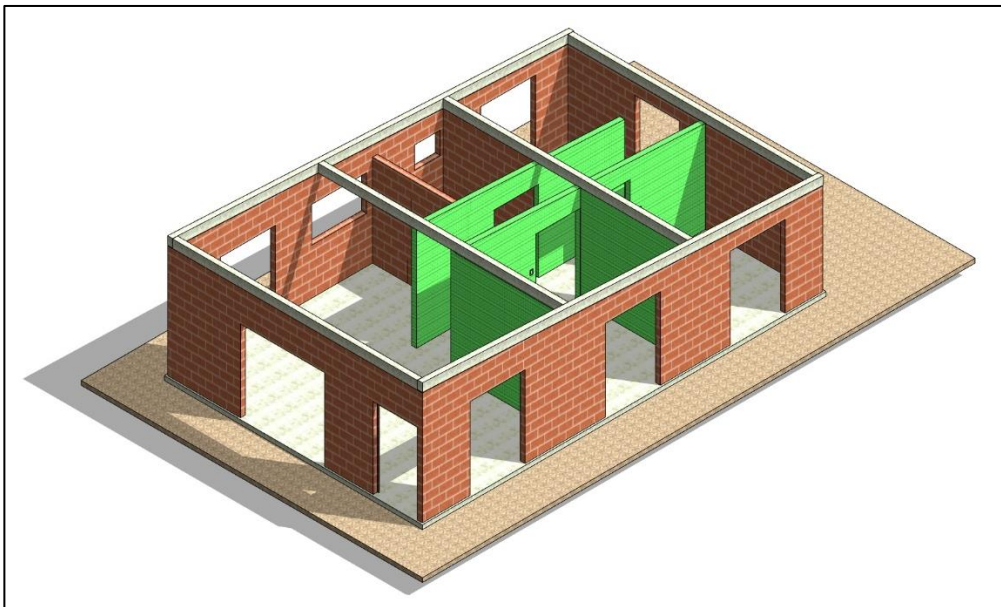
Para los muros de la vivienda, se realizó una combinación de los muros de mampostería estructural con muros elaborados en ladrillos ecológicos. Este tipo de ladrillos se fabrican a partir de la reutilización de residuos tales como plásticos, los cuales tardan en descomponerse y generan un impacto negativo al medio ambiente.

En Colombia se ha evidenciado el desarrollo de este tipo de materiales, sin embargo, la resistencia a la compresión de estos elementos varía entre 4 y 12

MPa, es decir, mucho menor a los ladrillos tradicionales, los cuales tienen una resistencia a la compresión mayor a 30 Mpa. Lo anterior hace que este tipo de elementos se puedan utilizar para la construcción de muros divisorios que no sean de uso estructural.

Asimismo, el costo de estos elementos. Un ladrillo tradicional como el que se propuso para los muros del modelo 1, tiene un costo entre \$600 y \$1000 por unidad. Este tipo de ladrillos ecológicos tiene un costo entre \$2000 y \$2500 por unidad. Se observan la configuración de muros combinados entre mampostería estructural y muros en ladrillos ecológicos, los cuales se evidencian en color verde (véase la Figura 27).

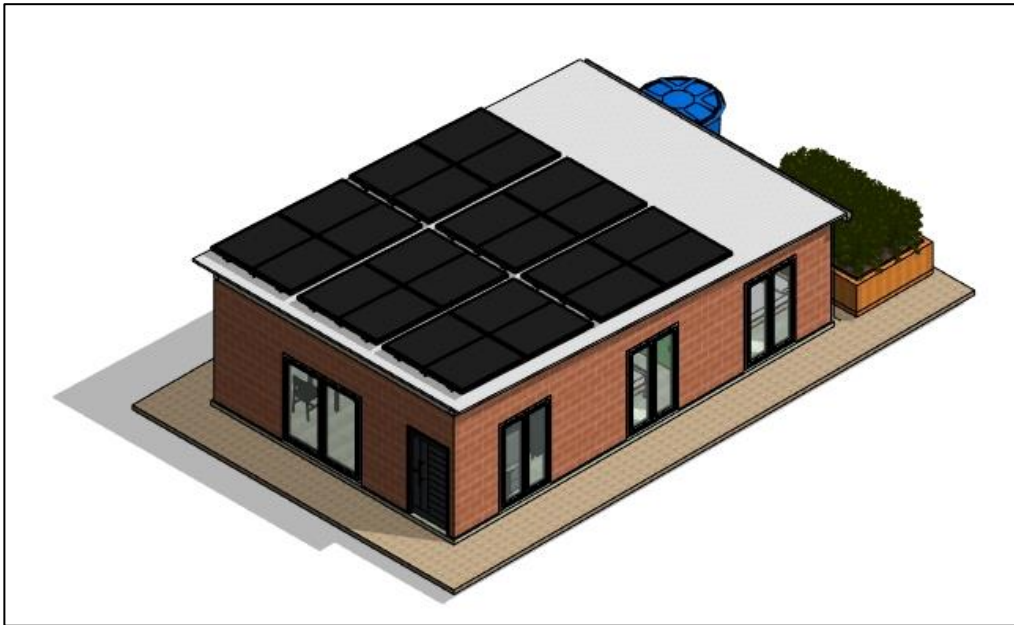
Figura 27. Sistema de Muros Combinados del Prototipo (Modelo 2)



Fuente. Los Autores

Respecto al manejo de la energía, se incrementó la cantidad de paneles solares (véase la Figura 28). Adicional a esto, se toma el sistema de abastecimiento de energía solar Off-grid, lo que mantiene la red de suministro de energía fuera de la red local de distribución eléctrica, con esto se garantiza que normalmente haya energía en la edificación.

Figura 28. Ubicación de Paneles Solares del Prototipo (Modelo 2)



Fuente. Los Autores

Este sistema de paneles solares es diseñado para suministrar cualquier tipo de carga eléctrica, como cualquier valor de potencia que se requiera y cualquier cantidad de energía eléctrica que se necesite. Teniendo en cuenta que, con una mayor cantidad de paneles solares se genera una mayor captación de energía solar, es necesario que este sistema cuente con un elemento que almacene la energía que se genera de más en horas donde la luz solar es captable por los mismos, para ser utilizada en horas donde la radiación solar no es captable, así, por ejemplo, en la noche o en días muy nublados.

Toda la red de suministro de la vivienda estará conectada al elemento de almacenaje de electricidad (baterías), donde todos los aparatos eléctricos de la vivienda tomarán la energía suficiente para su funcionamiento. Teniendo en cuenta que, son más paneles solares y que se necesita un elemento extra de almacenaje de energía, los valores de este sistema Off-grid son muy elevados si se comparan con los sistemas On-grid que son comúnmente empleados en las medianas y grandes urbes.

Respecto al manejo y reutilización del agua, se identificó que en el mercado existen plantas de tratamiento de agua de lluvia diseñadas para una vivienda convencional y con un costo relativamente bajo. Este tipo de sistemas consta de un filtro de arena y otro de carbón activado para luego proceder con un tratamiento

con cloro y finalmente entregar el agua tratada al punto destinado por el usuario [87].

Según diversos fabricantes, los usos de esta agua tratada van desde la descarga de sanitarios hasta el consumo humano. Es importante mencionar que el caudal que puede tratar este tipo de planta es de 1000 a 2000 Litros/día. Se observa el tipo de planta mencionada anteriormente en donde se puede identificar que es un sistema que ocupa poco espacio dentro de la vivienda y generaría grandes beneficios no solo económicos sino ambientales (véase la Figura 29).

Figura 29. Planta de Tratamiento de Aguas Lluvias



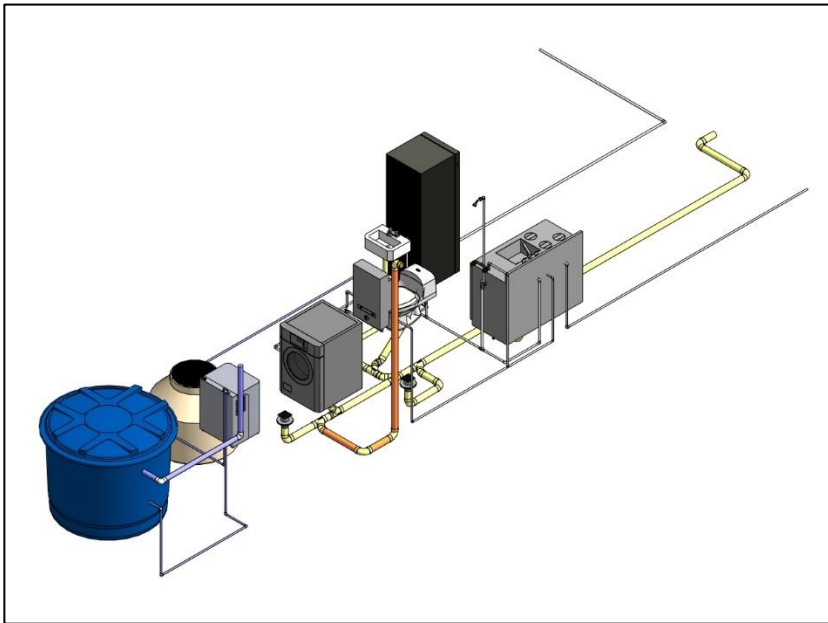
Fuente. Eduardoño S.A, 2020

A partir de la información anterior, se decide implementar este tipo de sistema en el tratamiento de aguas lluvias para el segundo modelo de la vivienda sostenible de la comunidad de Mochuelo Bajo. Siguiendo los pasos para el cálculo de la capacidad de abastecimiento que se mencionaron de forma detallada en el modelo 1, se observa que el uso que se le daría al agua de lluvia para este modelo sería únicamente para descarga de sanitarios, aseo de espacios y lavado de ropa.

Por lo tanto, el resultado obtenido a partir del análisis realizado indica que se podría abastecer el 52% de la demanda mensual de los habitantes de la vivienda. Es importante mencionar que para implementar este sistema se requiere dos tanques de almacenamiento. El primer tanque tendrá la tarea de almacenar el agua de lluvia que proviene de la cubierta y en el segundo tanque se tendrá el agua tratada.

La distribución del agua de lluvia y de las instalaciones hidrosanitarias para el modelo 2, a partir de la inclusión de la planta de tratamiento de agua lluvia (véase la Figura 30). Se aclara que no se dispone del agua de lluvia para consumo humano debido a que no se alcanzaría a abastecer la demanda de la vivienda con las condiciones meteorológicas de la zona.

Figura 30. Instalaciones Hidrosanitarias y de Agua Lluvia del Prototipo (Modelo 2)



Fuente. Los Autores

6.3. ANALISIS DE COSTOS

El uso de la metodología BIM en la dimensión 4D y 5D plantea la articulación del modelo en 3D con los costos de construcción de un proyecto y el tiempo de ejecución del mismo. Por lo tanto, se realizó el análisis de costos de cada uno de los modelos para identificar como las variaciones de elementos entre modelos producen un impacto económico.

Siguiendo los parámetros de la metodología BIM, el presupuesto se realizó a partir de la extracción de cantidades del modelo 3D, para luego proceder con la asignación de precios a insumos y mano de obra teniendo en cuenta bases de datos y experiencia propia en el campo laboral.

Es importante mencionar que para la selección del prototipo apropiado para la comunidad de Mochuelo Bajo se tiene en cuenta el aspecto económico, debido a que no se debe desconocer la realidad social de los habitantes de esta zona de la

ciudad. Si bien es cierto, el proyecto podría ser financiado por el Gobierno Nacional o alguna Organización No Gubernamental, el aspecto económico es uno de los criterios principales para realizar o no ejecutar un proyecto.

Se relaciona el valor de presupuesto por capítulos para cada uno de los modelos (véase la Tabla 6). Respecto al presupuesto detallado, este se podrá observar en los anexos. Se evidencia que el modelo 2 tiene un costo del doble del modelo 1. Eso se debe principalmente a las modificaciones de los muros divisorios y los nuevos elementos para el ahorro de energía y agua.

Tabla 6. Presupuesto Costo Directo de Modelo 1 y Modelo 2

PRESUPUESTO MODELO 1		PRESUPUESTO MODELO 2	
CAPITULO	COSTO	CAPITULO	COSTO
Preliminares	\$ 162,500	Preliminares	\$ 162,500
Excavación	\$ 150,716	Excavación	\$ 150,716
Cimentación	\$ 1,372,057	Cimentación	\$ 1,372,057
Mampostería	\$ 3,996,922	Mampostería	\$ 21,135,612
Vigas de Anclaje	\$ 420,270	Vigas de Anclaje	\$ 420,270
Ventanería	\$ 3,975,400	Ventanería	\$ 3,975,400
Puertas	\$ 1,605,000	Puertas	\$ 1,605,000
Instalaciones Eléctricas	\$ 8,023,208	Instalaciones Eléctricas	\$ 35,883,208
Instalaciones Hidrosanitarias	\$ 3,807,220	Instalaciones Hidrosanitarias	\$ 3,807,220
Instalaciones Agua Lluvia	\$ 1,529,188	Instalaciones Agua Lluvia	\$ 7,497,567
Cubierta	\$ 4,333,583	Cubierta	\$ 4,333,583
Huerta Ecológica	\$ 1,260,500	Huerta Ecológica	\$ 1,260,500
TOTAL	\$ 30,636,563	TOTAL	\$ 81,603,632

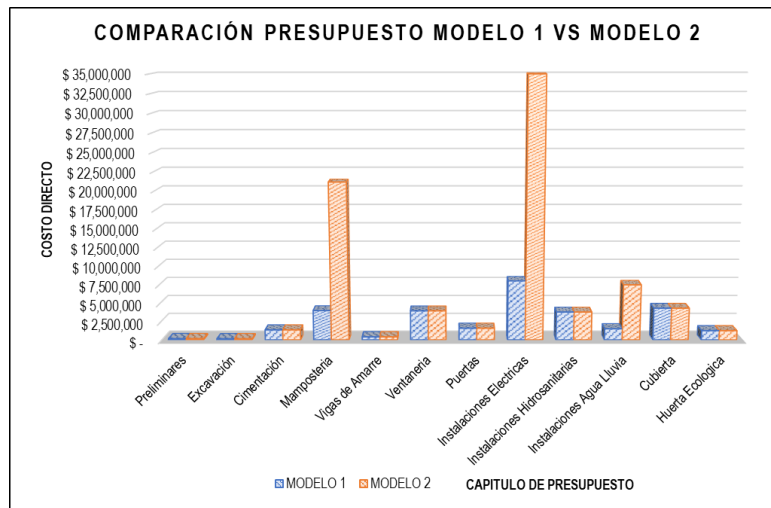
Fuente. Los Autores

Se observa de manera gráfica la comparación entre capítulos de presupuesto para cada modelo (véase la Figura 31). Como se indicó anteriormente, las principales diferencias se observan en la mampostería, instalaciones eléctricas e hidrosanitarias. Para el tema de la energía, se utilizaría un sistema de paneles solares que pueda satisfacer la totalidad de la demanda de la energía eléctrica a consumir e incluso se podrá generar un tipo de suplencia en dado caso que las condiciones atmosféricas del entorno no permitan almacenar nueva energía solar.

Para las instalaciones hidrosanitarias, la diferencia principal del modelo 2 con respecto al modelo 1, radica en la utilización del agua de lluvia para el lavado de ropa, siendo este recurso tratado por una planta de tratamiento debido a que no es recomendable usar el agua de lluvia sin un tratamiento previo, excepto para descarga de sanitarios.

Con base en este análisis, se decide que la mejor opción por temas económicos, constructivos y de cumplimiento de normatividad colombiana para la comunidad de Mochuelo Bajo es el modelo 1. Sin embargo, se aclara que en dado caso que el proyecto no tenga un límite de costo, se podría adoptar las tecnologías y elementos del modelo 2. Para este caso, los dos modelos cuentan con el diseño estructural, arquitectónico, de instalaciones y presupuesto. Los planos del modelo 1 se relacionan en el apartado de Planos de Diseño y Anexos.

Figura 31. Comparación Presupuesto Costo Directo Modelo 1 vs Modelo 2

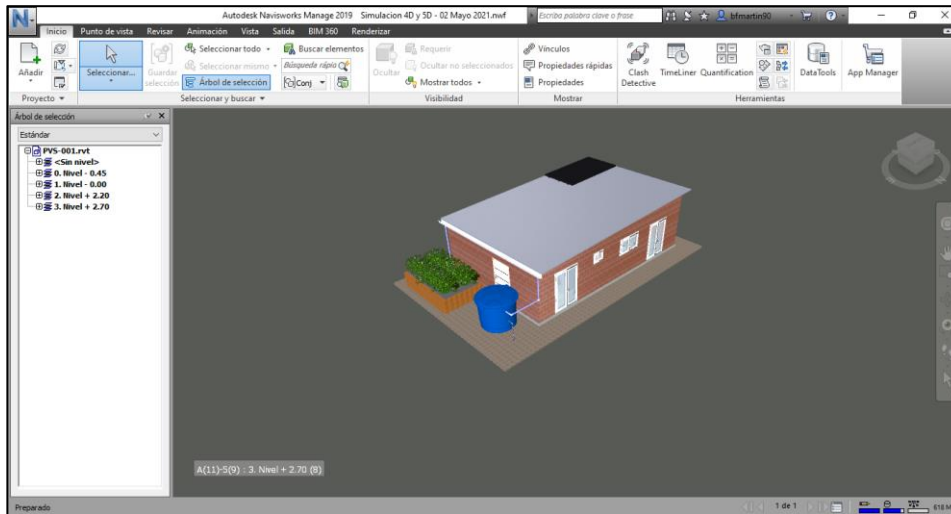


Fuente. Los Autores

6.4. SIMULACIÓN 4D y 5D

Como se mencionó en la metodología, para la realización de la simulación 4D y 5D del prototipo de vivienda se debe hacer uso del programa Autodesk Navisworks (véase la Figura 32). En primera instancia, se debe exportar el modelo desde Autodesk Revit teniendo en cuenta la totalidad de los objetos modelados, debido a que el objetivo de enlazar el modelo 3D con el presupuesto y la programación de construcción del proyecto es identificar y visibilizar de manera precisa todos los elementos a construir.

Figura 32. Exportación de Modelo y Visualización Inicial en Navisworks



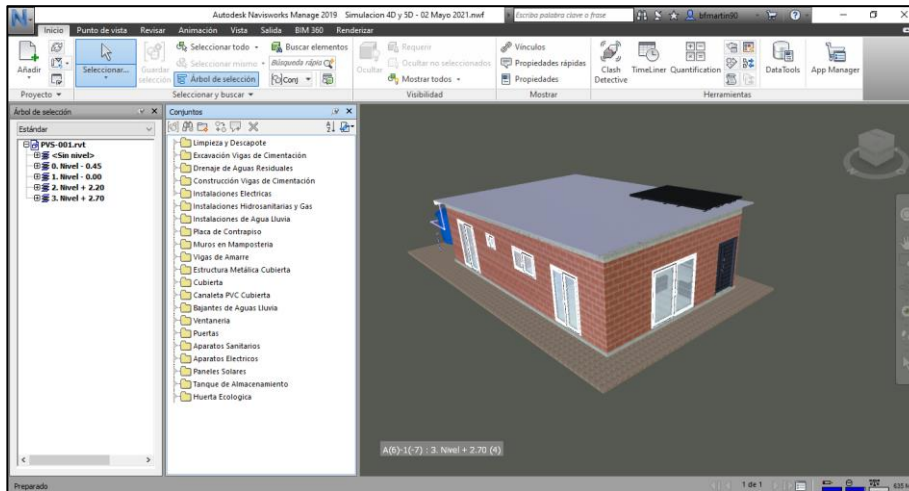
Fuente. Los Autores

Uno de los pasos que se deben tener en cuenta antes de ingresar al software Navisworks es la realización del presupuesto y programa de construcción, los cuales deberían tener las mismas actividades.

Uno de los principales inconvenientes más frecuentes en los proyectos es la concordancia entre el presupuesto y la programación. Esto se debe a que usualmente el equipo que plantea el presupuesto es diferente al que realiza la programación y no se tienen en cuenta que los elementos a construir son los que deben estar en el presupuesto.

Siguiendo lo mencionado, se planteó la programación y presupuesto a partir de los objetos modelados en el modelo 3D. Posteriormente se crearon los conjuntos de selección, los cuales hacen referencia a los elementos que serán asignados para cada actividad de la programación (véase la Figura 33).

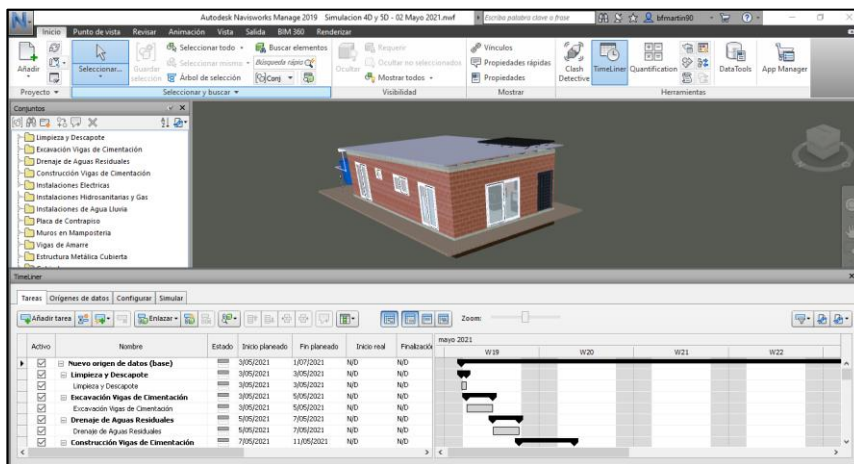
Figura 33. Creación de Conjuntos de Selección en Navisworks



Fuente. Los Autores

El paso a seguir para realizar este tipo de simulaciones consiste en vincular el programa de obra con la secuencia lógica de las actividades junto con los conjuntos de selección (véase la Figura 34). En este paso se debe conocer el proceso constructivo de la edificación a realizar con el objetivo que la simulación presente de manera ordenada la secuencia de actividades y se puedan visualizar interferencias o conflictos entre disciplinas que usualmente no se observan en el modelo 3D, debido a que la coordinación se realiza de una forma más sencilla por medio del software Autodesk Navisworks. Además, este software genera un reporte de colisiones entre elementos.

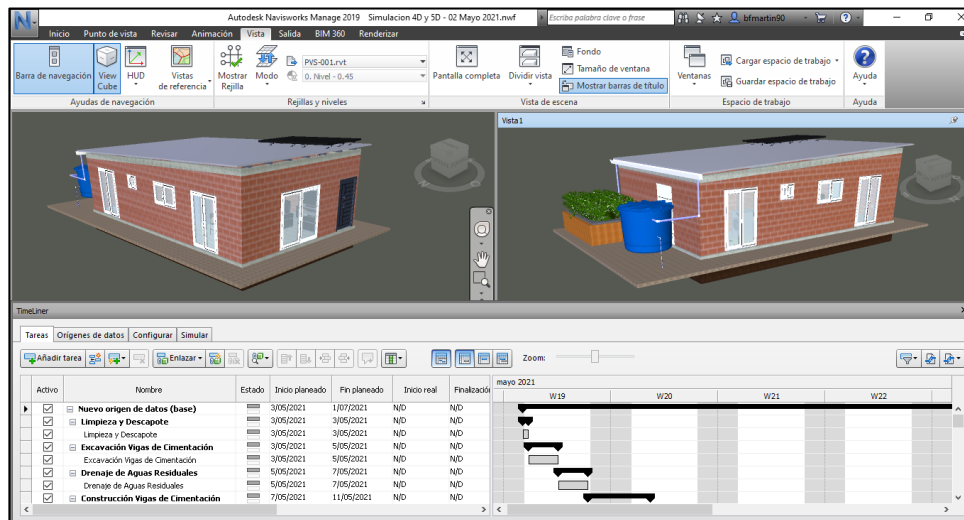
Figura 34. Articulación de Conjuntos de Selección y Programa de Obra en Navisworks



Fuente. Los Autores

Luego de haber realizado lo mencionado antes, se puede observar el proceso de construcción de la vivienda con los elementos modelados. Una de las principales ventajas de este tipo de software, es la visualización desde diferentes puntos como se desarrolla la simulación para analizar temas de logística. Para la simulación 5D, únicamente se incluye el costo de cada actividad y se podrá observar los recursos en términos de dinero que serán requeridos para fechas o hitos específicos del proyecto (véase la Figura 35).

Figura 35. Simulación 4D y 5D en Navisworks



Fuente. Los Autores

7. CONCLUSIONES

- ✓ La solución habitacional propuesta para la comunidad de Mochuelo Bajo que se relaciona en el presente trabajo de grado considera reutilización de agua de lluvia, aprovechamiento de energía solar y procesos constructivos menos agresivos con el medio ambiente a través de la baja utilización de materiales tales como concreto y acero de refuerzo. Para el aprovechamiento de la energía, el sistema propuesto permite satisfacer el 100% de la demanda de energía en horas nocturnas y en el día se utilizaría electricidad de forma mínima debido a las grandes superficies de entrada de luz natural. Para el agua, según las condiciones meteorológicas, se podría abastecer el 30% de la demanda diaria de los habitantes de la zona. Por último, al no tener materiales avalados por la NSR-10 para la construcción de edificaciones que cumplan el criterio de sostenibilidad, se optó por usar los materiales avalados en menor medida.
- ✓ La investigación realizada evidencia que actualmente el sector de la construcción muestra cada vez mayor preocupación por el impacto negativo ambiental que genera la construcción tradicional de edificaciones. Sin embargo, el tema de sostenibilidad no se encuentra totalmente definido en un reglamento tal como la NSR-10 que sirva como guía para realizar proyectos sostenibles cumpliendo parámetros mínimos de estabilidad. Si bien es cierto, en esta norma se indican propiedades de materiales, no se realiza una concientización de que algunos materiales generan un daño mayor que otros al ambiente. Para el tema de la metodología BIM, la sostenibilidad requiere de mayor investigación y de articulación con software que permita evaluar aspectos ambientales de materiales y técnicas de construcción por medio de modelos tridimensionales.
- ✓ El desarrollo de los modelos de solución habitacional se basó en la consulta y revisión de la normatividad colombiana vigente para el diseño de viviendas de uno y dos pisos, instalaciones hidrosanitarias y eléctricas. Los criterios seleccionados permiten la correcta operación y funcionamiento de la vivienda garantizando la seguridad de los habitantes en temas de estabilidad y saneamiento. Se menciona que la utilización de materiales tradicionales para la cimentación y sistema de muros estructurales se debe principalmente al cumplimiento de la legislación colombiana respecto a la construcción de edificaciones.
- ✓ La concepción de los prototipos de vivienda se basó en identificar las condiciones ambientales, sociales y económicas de la comunidad objeto de estudio. Teniendo en cuenta que muchas de las viviendas de la zona no cumplen con criterios básicos de construcción, se propone una unidad con servicios básicos teniendo en cuenta la inclusión de tecnologías sostenibles ajustadas a las condiciones económicas de la comunidad. Es por lo anterior,

que la selección de sistemas y materiales se realizó considerando el costo de cada uno de ellos, asumiendo que el costo total de la vivienda lo pagan los propietarios. Para el segundo modelo, se relacionan las tecnologías de punta que permitan mayor aprovechamiento de recursos naturales y menor impacto ambiental, sin tener en cuenta el costo, dado el caso que el proyecto sea financiado por el gobierno nacional o una organización no gubernamental. Lo anterior se articula con la metodología BIM al generar un modelo tridimensional con la totalidad de los elementos a construir y con un nivel de detalle que permita la extracción de cantidades, coordinación de instalaciones y actualización de planos en dado caso que se realice una modificación de diseño que optimice el proyecto.

- ✓ Por medio de la utilización de un modelo tridimensional que contempló la totalidad de los elementos a construir y la integración de las disciplinas de arquitectura, estructura e instalaciones, se realizó la coordinación de dichos componentes de la vivienda para reducir errores y reprocesos que se traducen en costos que asume directamente el propietario de la vivienda. Lo anterior se complementa con la simulación 4D y 5D, en donde se observó el proceso constructivo de la vivienda para garantizar que la coordinación de disciplinas estuviera correcta y no se presentaran inconsistencias de diseño.

8. RECOMENDACIONES

- ✓ Es importante sentar bases generales que apunten a la implementación de una normativa que regule el diseño, funcionamiento y construcción de sistemas de energías alternativas como los paneles fotovoltaicos. Adicionalmente, una mayor difusión de la resolución CREG 030-2018, para impulsar el uso de estos sistemas y así conocer a fondo todos los beneficios tanto ambientales como económicos de provechar la energía solar.

Asimismo, es importante que las entidades encargadas de formular las normas de sismo resistencia para la construcción de edificaciones incluyan parámetros de sostenibilidad y materiales que tengan un impacto ambiental mínimo o nulo.

- ✓ Una recomendación para las huertas es planificar las estrategias para involucrar no solo a los beneficiarios de estas, sino, a la gestión pública en materia agrícola, que fomente políticas de producción de dichos alimentos orgánicos. De igual modo, fortalecer la agricultura urbana como una alternativa económica sostenible, que nace desde las necesidades e intereses de los beneficiarios y que impacte positivamente en los proyectos de huertas urbanas.
- ✓ El sistema de tratamiento de agua de lluvia para consumo humano resulta costoso para una sola vivienda, sin embargo, si se evalúa la implementación para un grupo de viviendas en donde el costo se asuma en partes equitativas para ese grupo, se volvería un sistema rentable y el retorno de la inversión se daría en un tiempo menor.

Respecto al tema mencionado, una posible continuación del presente trabajo de investigación se puede dar a través de la formulación de un sistema de tratamiento para aguas residuales y agua de lluvia teniendo en cuenta un grupo de viviendas con base a la vivienda formulada en este documento.

- ✓ Las principales ventajas del uso de la simulación 4D y 5D en la metodología BIM se observan en mayor magnitud a través de proyectos que incluyan sistemas de redes complejos, sin embargo, en proyectos de vivienda unifamiliar se observa que la metodología BIM adopta una visión diferente enfocada a la mitigación de errores en procesos constructivos y a la modificación constante de sistemas que promuevan el buen uso de la energía y el agua. Lo anterior hace referencia a que, al ser un proyecto con menor complejidad, se pueden presentar diversas alternativas y todas se pueden evaluar en busca de una mejor solución habitacional.

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] D. M. Lugo Díaz, "Parámetros de construcción de vivienda sostenible en Bogotá y mitos vs realidades en proyectos sostenibles," Universidad Católica de Colombia, 2020.
- [2] C. Consejo Nacional de Política Económica y Social and D. Departamento Nacional de Planeación, "Documento CONPES 3919." p. 98, 2018.
- [3] F. Rodríguez and G. Fernández, "Ingeniería sostenible: nuevos objetivos en los proyectos de construcción," *Rev. Ing. construcción*, vol. 25, no. 2, pp. 147–160, 2010.
- [4] M. C. Padilla Aponte, "Construcciones Sostenibles En Comunidades Vulnerables: Caso De Estudio Municipio De Sibaté-Cundinamarca.," Universidad Católica de Colombia, 2019.
- [5] B. Alcaldía Mayor de Bogotá, "Diagnóstico Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) Mochuelo," *Alcaldía Mayor de Bogotá*, 2017. [Online]. Available: http://www.ciudadbolivar.gov.co/sites/ciudadbolivar.gov.co/files/documentos/unidad_de_planeamiento_zonal_upz_mochuelo.pdf.
- [6] A. Enshassi, B. Kochendoerfer, and E. Rizq, "Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción," *Rev. Ing. construcción*, vol. 29, no. 3, pp. 234–254, 2014.
- [7] C. M. Bedoya, "Viviendas de Interés Social y Prioritario Sostenibles en Colombia-VISS y VIPs-Sustainable Social and Priority Housing in Colombia," *Rev. SOSTENIBILIDAD Tecnol. Y HUMANISMO*, vol. N°6, pp. 27–36, 2011.
- [8] F. Sánchez-Carracedo, B. Sureda, F. M. Moreno-Pino, and D. Romero-Portillo, "Education for Sustainable Development in Spanish engineering degrees. Case study," *J. Clean. Prod.*, vol. 294, p. 126322, 2021.
- [9] M. P. Martínez García, "Implementación de criterios de sostenibilidad económica, social y medioambiental para la selección de la cubierta en edificios de luces medias.," Universitat Politècnica de València, 2015.
- [10] P. Pelli, "Service innovation and sustainable construction: analyses of wood vis-à-vis other construction projects," *Clean. Eng. Technol.*, p. 100061, 2021.
- [11] S. R. Mohandes and X. Zhang, "Developing a Holistic Occupational Health and Safety risk assessment model: An application to a case of sustainable construction project," *J. Clean. Prod.*, vol. 291, p. 125934, 2021.
- [12] N. Murtagh, L. Scott, and J. Fan, "Sustainable and resilient construction: Current status and future challenges," *J. Clean. Prod.*, vol. 268, p. 122264,

2020.

- [13] A. Tukker, "Knowledge collaboration and learning by aligning global sustainability programs: reflections in the context of Rio+20," *J. Clean. Prod.*, vol. 48, pp. 272–279, 2013.
- [14] O. Suzer, "Analyzing the compliance and correlation of LEED and BREEAM by conducting a criteria-based comparative analysis and evaluating dual-certified projects," *Build. Environ.*, vol. 147, pp. 158–170, 2019.
- [15] A. M. Walker, W. J. V Vermeulen, A. Simboli, and A. Raggi, "Sustainability assessment in circular inter-firm networks: An integrated framework of industrial ecology and circular supply chain management approaches," *J. Clean. Prod.*, vol. 286, p. 125457, 2021.
- [16] K. A. Moreno-Sader, J. D. Martinez-Consuegra, and Á. D. González-Delgado, "Development of a biorefinery approach for shrimp processing in North-Colombia: Process simulation and sustainability assessment," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 22, p. 101461, 2021.
- [17] S. Tabares, "Do hybrid organizations contribute to Sustainable Development Goals? Evidence from B Corps in Colombia," *J. Clean. Prod.*, vol. 280, p. 124615, 2021.
- [18] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs," *Autom. Constr.*, vol. 38, pp. 109–127, 2014.
- [19] E. I. A. Lester, "Building Information Modelling (BIM)," *Proj. Manag. Plan. Control*, pp. 509–527, 2017.
- [20] A. Mojica and D. Valencia, "IMPLEMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS BIM COMO HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA EDIFICACIÓN EN BOGOTÁ," 2012.
- [21] R. G. Kreider and J. I. Messner, "The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses," *Pennsylvania State Univ.*, no. September, pp. 0–22, 2013.
- [22] I. Grytting, F. Svaestuen, J. Lohne, H. Sommerseth, S. Augdal, and O. Lædre, "Use of LoD Decision Plan in BIM-projects," *Procedia Eng.*, vol. 196, no. June, pp. 407–414, 2017.
- [23] O. Organización de las Naciones Unidas and P. Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo, "ODS En Colombia. Los Retos Para 2030.," *Organización de las Naciones Unidas, ONU*. p. 74, 2018.
- [24] Departamento Nacional de Planeación, "Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad. Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Retos, estrategias y metas," *Plan Nac. Planeación*, p. 220, 2019.

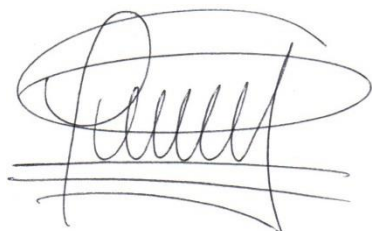
- [25] Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), “Política de Crecimiento Verde (CONPES 3934),” *Dep. Nac. Planeación*, p. 114, 2018.
- [26] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA - UPME, “Resolución 463 de 2018.” p. 58, 2018.
- [27] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Resolución No. 0472 ‘Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición - RDC y se dictan otras disposiciones,’” *Resolución No. 0472*. p. 11, 2017.
- [28] C. y T. Ministerio de Vivienda, “Resolución 0549 del 10 Julio de 2015,” *Porcentajes minimos de ahorro de agua y energia de las construcciones*. pp. 1–10, 2015.
- [29] Ministerio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, “Titulo A - Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente,” *Nsr-10*, vol. Titulo A, pp. 1–174, 2010.
- [30] C. Passoni, A. Marini, A. Belleri, and C. Menna, “Redefining the concept of sustainable renovation of buildings: State of the art and an LCT-based design framework,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 64, p. 102519, 2021.
- [31] I. Jebli, F.-Z. Belouadha, M. I. Kabbaj, and A. Tilioua, “Prediction of solar energy guided by pearson correlation using machine learning,” *Energy*, vol. 224, p. 120109, 2021.
- [32] P. Narkwatchara, C. Ratanatamskul, and A. Chandrachai, “Effects of particulate matters and climate condition on photovoltaic system efficiency in tropical climate region,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 2577–2586, 2020.
- [33] S. Goodhew and R. Griffiths, “Sustainable earth walls to meet the building regulations,” *Energy Build.*, vol. 37, no. 5, pp. 451–459, 2005.
- [34] A. Evans, V. Strezov, and T. J. Evans, “Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 5, pp. 1082–1088, 2009.
- [35] Teignbridge District, “Renewable Energy and Sustainable Construction Study,” 2010.
- [36] K. Yadav and A. Sircar, “Geothermal energy provinces in India: A renewable heritage,” *Int. J. Geoheritage Park.*, 2020.
- [37] O. Paish, “Small hydro power: technology and current status,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 6, no. 6, pp. 537–556, 2002.
- [38] J. Meuer, F. Lamaro, and N. Vetterli, “Embedding energy optimization in organizations: A case study of a Swiss decentralized renewable energy system,” *Energy Build.*, vol. 235, p. 110710, 2021.

- [39] H. Zhang, "Energy conservation for the 3D tropical climate model in bounded domains," *J. Math. Anal. Appl.*, vol. 492, no. 1, p. 124424, 2020.
- [40] A. E. Onile, R. Machlev, E. Petlenkov, Y. Levron, and J. Belikov, "Uses of the digital twins concept for energy services, intelligent recommendation systems, and demand side management: A review," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 997–1015, 2021.
- [41] P. Palensky and D. Dietrich, "Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 3, pp. 381–388, 2011.
- [42] L. Wei, C. Yi, and J. Yun, "Energy drive and management of smart grids with high penetration of renewable sources of wind unit and solar panel," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 129, p. 106846, 2021.
- [43] N. T. Mbungu, R. C. Bansal, R. M. Naidoo, M. Bettayeb, M. W. Siti, and M. Bipath, "A dynamic energy management system using smart metering," *Appl. Energy*, vol. 280, p. 115990, 2020.
- [44] H. E. Degha, F. Z. Laallam, and B. Said, "Intelligent context-awareness system for energy efficiency in smart building based on ontology," *Sustain. Comput. Informatics Syst.*, vol. 21, pp. 212–233, 2019.
- [45] S. B. Sadineni, S. Madala, and R. F. Boehm, "Passive building energy savings: A review of building envelope components," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 8, pp. 3617–3631, 2011.
- [46] D. A. Chwieduk, "Towards modern options of energy conservation in buildings," *Renew. Energy*, vol. 101, pp. 1194–1202, 2017.
- [47] U. U.S. Green Building Council, *GUÍA DE CONCEPTOS BÁSICOS DE LEED® Y EDIFICIOS ECOLÓGICOS*, vol. 2. 2017.
- [48] Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Pontificia Bolivariana., *Guía 4. Guía para el diseño de edificaciones sostenibles*. 2015.
- [49] A. K. Marinoski and E. Ghisi, "Environmental performance of hybrid rainwater-greywater systems in residential buildings," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 144, no. August 2018, pp. 100–114, 2019.
- [50] M. M. Rahman, M. A. Rahman, M. M. Haque, and A. Rahman, *Sustainable Water Use in Construction*. Elsevier Inc., 2019.
- [51] Y. E. P. PALLARES and Y. X. A. PAEZ, "Análisis de la huella de carbono y alternativas de mitigación en el uso de los materiales más utilizados en el sector de la construcción," *Tesis*, pp. 1–115, 2019.
- [52] C. Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, "Diseño y Construcción de Soluciones Habitacionales en Colombia," 2016.

- [53] I. C. Ezema, *Chapter 9 - Materials*. Elsevier Inc., 2019.
- [54] L. Krishnaraj and P. T. Ravichandran, "Characterisation of ultra-fine fly ash as sustainable cementitious material for masonry construction," *Ain Shams Eng. J.*, no. xxxx, 2020.
- [55] P. Abhishek, P. Ramachandra, and P. S. Niranjana, "Use of recycled concrete aggregate and granulated blast furnace slag in self-compacting concrete," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2020.
- [56] H. Limami, I. Manssouri, K. Cherkaoui, and A. Khaldoun, "Recycled wastewater treatment plant sludge as a construction material additive to ecological lightweight earth bricks," *Clean. Eng. Technol.*, vol. 2, no. January, p. 100050, 2021.
- [57] H. M. Vu, J. P. Forth, D. V. Dao, and V. V. Toropov, "The use of optimisation for enhancing the development of a novel sustainable masonry unit," *Appl. Math. Model.*, vol. 38, no. 3, pp. 853–863, 2014.
- [58] M. K. Mondal, B. P. Bose, and P. Bansal, "Recycling waste thermoplastic for energy efficient construction materials: An experimental investigation," *J. Environ. Manage.*, vol. 240, no. May 2018, pp. 119–125, 2019.
- [59] A. Aboelata, "Assessment of green roof benefits on buildings' energy-saving by cooling outdoor spaces in different urban densities in arid cities," *Energy*, vol. 219, p. 119514, 2021.
- [60] I. F. Grullón – Penkova, J. K. Zimmerman, and G. González, "Green roofs in the tropics: design considerations and vegetation dynamics," *Heliyon*, vol. 6, no. 8, p. e04712, 2020.
- [61] M. A. Bollman, G. E. DeSantis, R. S. Waschmann, and P. M. Mayer, "Effects of shading and composition on green roof media temperature and moisture," *J. Environ. Manage.*, vol. 281, p. 111882, 2021.
- [62] Y. Kang, V. W.-C. Chang, D. Chen, V. Graham, and J. Zhou, "Performance gap in a multi-storey student accommodation complex built to Passivhaus standard," *Build. Environ.*, vol. 194, p. 107704, 2021.
- [63] J. Forde, C. J. Hopfe, R. S. McLeod, and R. Evins, "Temporal optimization for affordable and resilient Passivhaus dwellings in the social housing sector," *Appl. Energy*, vol. 261, p. 114383, 2020.
- [64] G. Foladori and N. Estades, *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*. 2005.
- [65] J. Langemeyer, C. Madrid-Lopez, A. Mendoza Beltran, and G. Villalba Mendez, "Urban agriculture — A necessary pathway towards urban resilience and global sustainability?," *Landsc. Urban Plan.*, vol. 210, p. 104055, 2021.

- [66] M. T. Gómez-Villarino and L. Ruiz-Garcia, "Adaptive design model for the integration of urban agriculture in the sustainable development of cities. A case study in northern Spain," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 65, p. 102595, 2021.
- [67] I. V Hume, D. M. Summers, and T. R. Cavagnaro, "Self-sufficiency through urban agriculture: Nice idea or plausible reality?," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 68, p. 102770, 2021.
- [68] G. Nagib and A. C. Nakamura, "Urban agriculture in the city of São Paulo: New spatial transformations and ongoing challenges to guarantee the production and consumption of healthy food," *Glob. Food Sec.*, vol. 26, p. 100378, 2020.
- [69] I. Othman, Y. Y. Al-Ashmori, Y. Rahmawati, Y. H. Mugahed Amran, and M. A. M. Al-Bared, "The level of Building Information Modelling (BIM) Implementation in Malaysia," *Ain Shams Eng. J.*, no. xxxx, 2020.
- [70] A. Hore, B. McAuley, and R. West, "BICP Global BIM Study: Lessons for Ireland's BIM Programme," *Constr. IT Alliance Ltd.*, p. 56, 2017.
- [71] Banco Interamericano de Desarrollo, B. F. Latam, and FIIC, "ENCUESTA BIM, AMERICA LATINA Y EL CARIBE 2020," 2020.
- [72] Camacol and B. Forum, "BIM en Colombia," *Construcción Latinoamericana*. 2018.
- [73] K. L. G. Lizcano, "Evaluación de la implementación de tecnologías y certificaciones en construcción sostenible entre las ciudades de Sao Paulo, Brasil y Bogotá, Colombia.," p. 102, 2017.
- [74] J. P. Carvalho, L. Bragança, and R. Mateus, "Optimising building sustainability assessment using BIM," *Autom. Constr.*, vol. 102, no. September 2018, pp. 170–182, 2019.
- [75] M. A. van Eldik, F. Vahdatikhaki, J. M. O. dos Santos, M. Visser, and A. Doree, "BIM-based environmental impact assessment for infrastructure design projects," *Autom. Constr.*, vol. 120, no. July, p. 103379, 2020.
- [76] L. Á. Antón and J. Díaz, "Integration of life cycle assessment in a BIM environment," *Procedia Eng.*, vol. 85, pp. 26–32, 2014.
- [77] B. C. Guerra, F. Leite, and K. M. Faust, "4D-BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams," *Waste Manag.*, vol. 116, pp. 79–90, 2020.
- [78] C. Panteli, A. Kylili, and P. A. Fokaides, "Building information modelling applications in smart buildings: From design to commissioning and beyond A critical review," *J. Clean. Prod.*, vol. 265, p. 121766, 2020.
- [79] V. y D. T. V. Ministerio de Ambiente, "Titulo E - Nsr-10," *Nsr-10*, 1997.

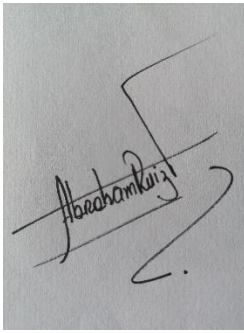
- [80] C. y T. C. Ministerio de Vivienda, “0330 - 2017.Pdf.” p. 77, 2017.
- [81] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; Organización Panamericana de la Salud, “Guía de diseño para captación del agua de lluvia,” *Cepis*, vol. 1, no. 1, p. 18, 2001.
- [82] J. Solar, “JKM275PP-60 260-270 Vatios,” 2015.
- [83] D. Katzin, S. van Mourik, F. Kempkes, and E. J. van Henten, “GreenLight – An open source model for greenhouses with supplemental lighting: Evaluation of heat requirements under LED and HPS lamps,” *Biosyst. Eng.*, vol. 194, pp. 61–81, 2020.
- [84] D. Katzin, L. F. M. Marcelis, and S. van Mourik, “Energy savings in greenhouses by transition from high-pressure sodium to LED lighting,” *Appl. Energy*, vol. 281, p. 116019, 2021.
- [85] M. P. Kaltsidi, R. Fernández-Cañero, and L. Pérez-Urrestarazu, “Assessment of different LED lighting systems for indoor living walls,” *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 272, p. 109522, 2020.
- [86] ACESCO, “Ficha Técnica Cubiertas.” p. 19, 2017.
- [87] E. Eduardoño S.A, “Plantas de Tratamiento de las Aguas Lluvias.” <https://www.eduardono.com/>, pp. 3–4, 2020.



LUIS CARLOS DUCUARA
507051



FABIÁN MARTÍN ÁLVAREZ
506790



ABRAHAM RUIZ VÁSQUEZ

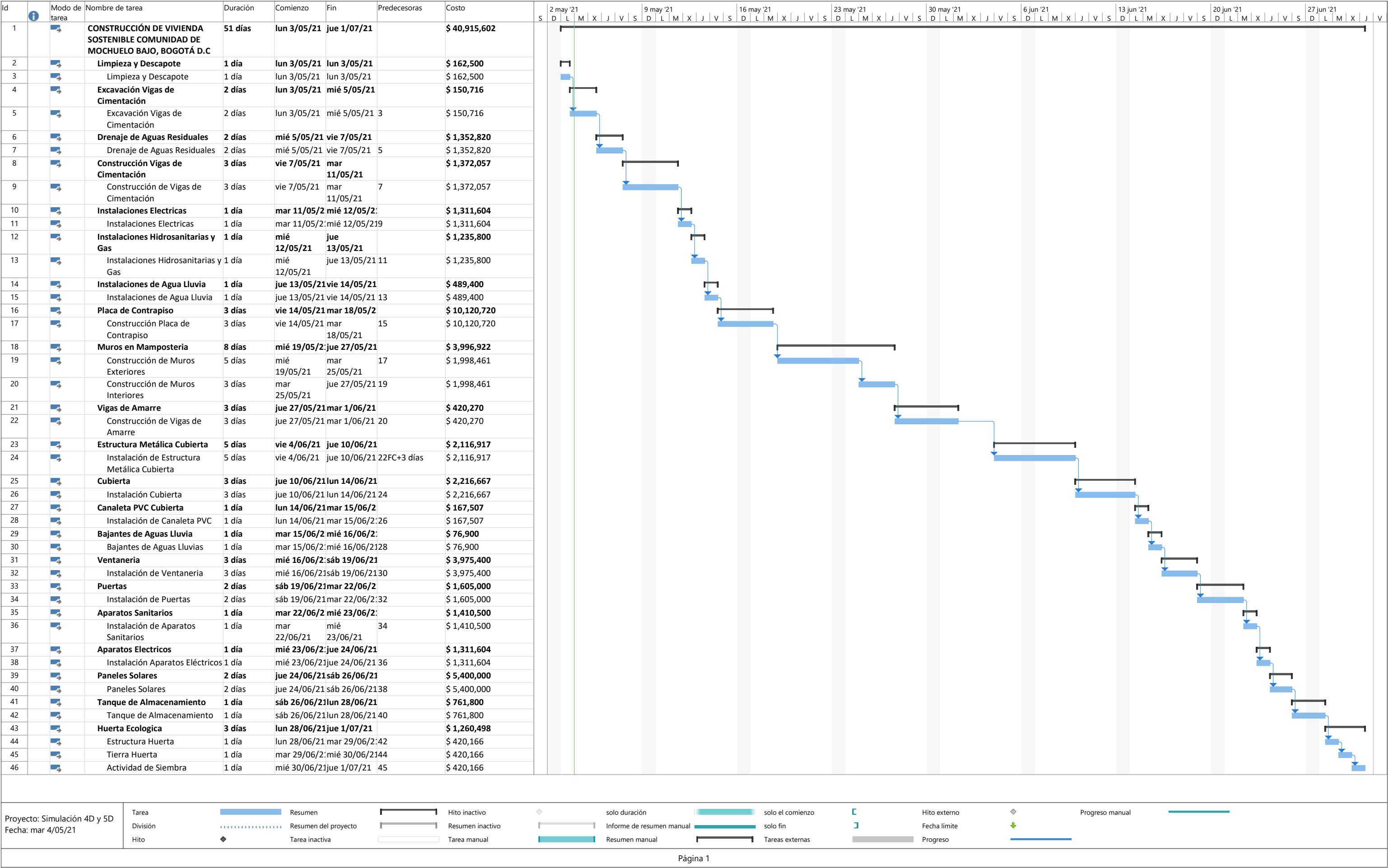
18 DE MAYO DE 2021

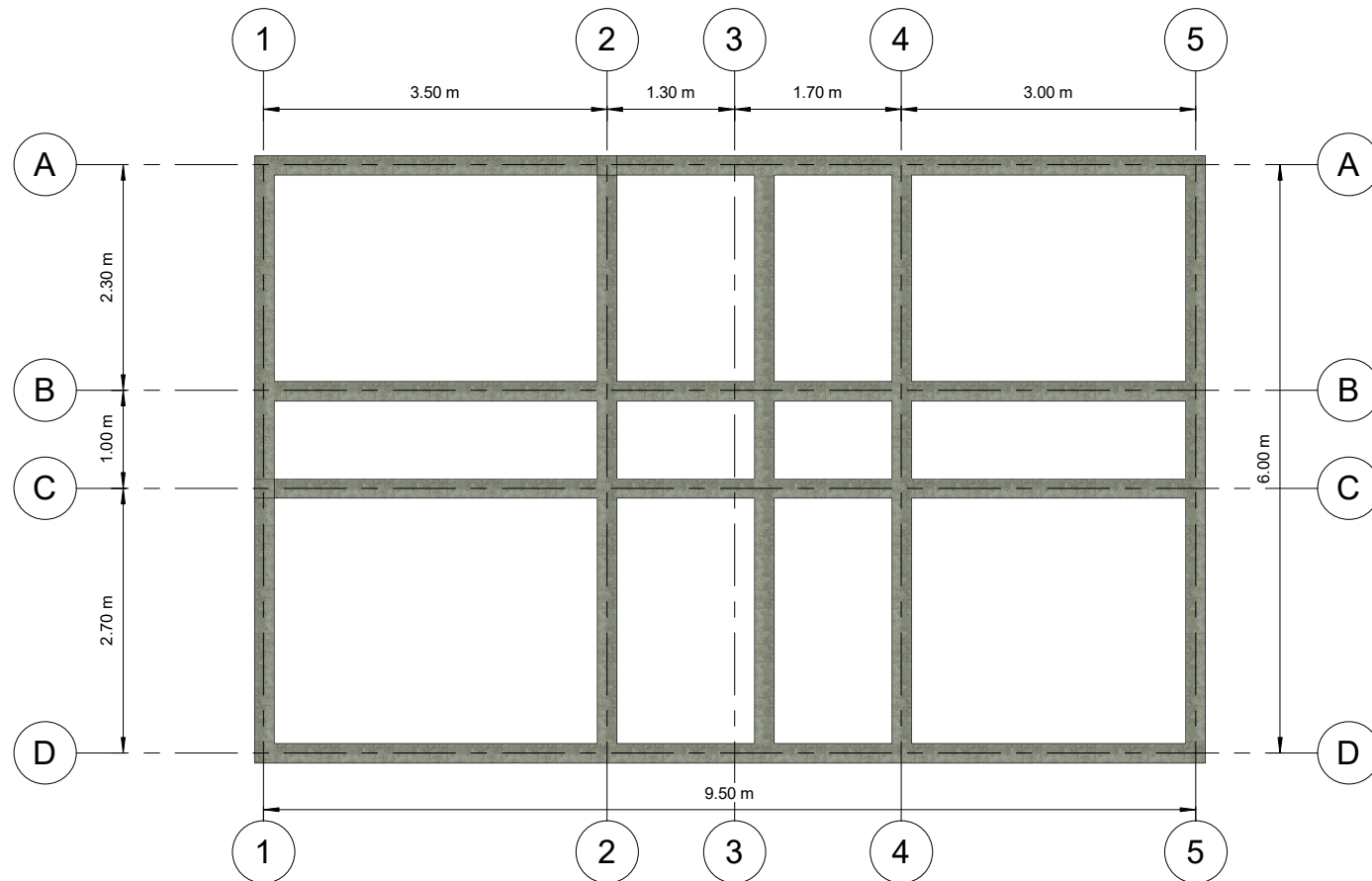
10. LISTADO DE ANEXOS

- ✓ Presupuesto General del Proyecto (Modelo 1 y 2)
- ✓ Programa General de Construcción (Modelo 1)
- ✓ Simulación 4D y 5D
- ✓ Planos Arquitectónicos, Estructurales y de Instalaciones.

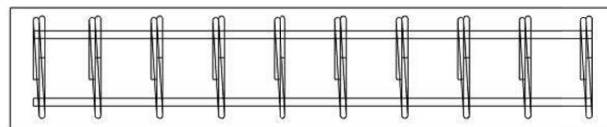
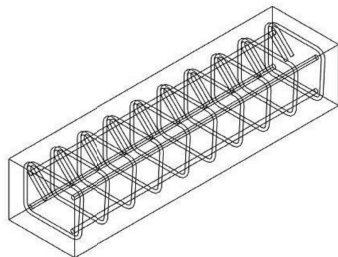
PRESUPUESTO VIVIENDA SOSTENIBLE - COMUNIDAD MOCHUELO BAJO, BOGOTÁ D.C - MODELO 1					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	TOTAL
1	PRELIMINARES				\$ 162,500
1.01	Limpieza y Descapote (H=0.25 m)	m²	65	\$ 2,500	\$ 162,500
2	EXCAVACIÓN				\$ 150,716
2.01	Excavación Manual Vigas de Cimentación (H=0.20 m)	m³	3.33	\$ 45,260	\$ 150,716
3	CIMENTACIÓN				\$ 1,372,057
3.01	Construcción Vigas de Cimentación (H=0.20 m) - Incluye Acero y Concreto	m³	3.33	\$ 412,029	\$ 1,372,057
3.02	Placa de Contrapiso (H=0.25 m) - Incluye Acero y Concreto	m²	60.14	\$ 168,286	\$ 10,120,720
4	MAMPOSTERIA				\$ 3,996,922
4.01	Muros Mamposteria Reforzada - Incluye Material, Acero y Concreto	m²	98.19	\$ 40,706	\$ 3,996,922
5	VIGAS DE AMARRE				\$ 420,270
5.01	Construcción Vigas de Amarre (H=0.20 m) - Incluye Acero y Concreto	m³	1.02	\$ 412,029	\$ 420,270
6	VENTANERIA				\$ 3,975,400
6.01	Ventanería 2.00 m * 1.90 m (Incluye suministro e instalación)	Unidad	1	\$ 1,115,900	\$ 1,115,900
6.02	Ventanería 1.30 m * 1.90 m (Incluye Suministro e Instalación)	Unidad	5	\$ 571,900	\$ 2,859,500
7	PUERTAS				\$ 1,605,000
7.01	Puerta Exterior 1.0 m * 1.90 m (Incluye suministro e instalación)	Unidad	2	\$ 420,000	\$ 840,000
7.02	Puerta Interior 1.0 m * 1.90 m (Incluye Suministro e Instalación)	Unidad	3	\$ 255,000	\$ 765,000
8	INSTALACIONES ELECTRICAS				\$ 8,023,208
8.01	Punto de Iluminación (Incluye aparato, tubería y mano de obra)	Unidad	8	\$ 129,776	\$ 1,038,208
8.02	Punto de Tomacorriente (Incluye aparato, tubería y mano de obra)	Unidad	14	\$ 62,500	\$ 875,000
8.03	Punto de Interruptor (Incluye aparato, tubería y mano de obra)	Unidad	8	\$ 45,000	\$ 360,000
8.04	Tablero de Distribución * 3 Circuitos (Incluye aparato, tubería y mano de obra)	Unidad	1	\$ 350,000	\$ 350,000
8.05	Sistema de Panel Solar (Incluye suministro e instalación)	Global	1	\$ 5,400,000	\$ 5,400,000
9	INSTALACIONES HIDROSANITARIAS Y GAS				\$ 3,807,220
9.01	Punto de suministro de agua potable (Tubería y mano de obra)	Unidad	6	\$ 122,350	\$ 734,100
9.02	Punto de suministro de agua caliente (Tubería y mano de obra)	Unidad	2	\$ 135,620	\$ 271,240
9.03	Punto de suministro de desagüe (Tubería y mano de obra)	Unidad	6	\$ 225,470	\$ 1,352,820
9.04	Punto de suministro de gas (Tubería y mano de obra)	Unidad	2	\$ 115,230	\$ 230,460
9.05	Sanitario ahorrador y lavamanos (Incluye accesorio e instalación)	Unidad	1	\$ 638,800	\$ 638,800
9.06	Calentador (Incluye accesorio e instalación)	Unidad	1	\$ 579,800	\$ 579,800
9.07	Lavaplatos (Incluye accesorio e instalación)	Unidad	1	\$ 191,900	\$ 191,900
10	INSTALACIONES DE AGUA LLUVIA Y RECOLECCIÓN				\$ 1,529,188
10.01	Punto de distribución (Tubería y mano de obra)	Unidad	4	\$ 122,350	\$ 489,400
10.02	Tanque de almacenamiento de 2000 L (Incluye transporte)	Unidad	1	\$ 761,880	\$ 761,880
10.03	Canaleta PVC (Incluye suministro y mano de obra)	m	6.8	\$ 29,560	\$ 201,008
10.04	Bajante de Aguas Lluvias (Incluye suministro y mano de obra)	m	3.00	\$ 25,633	\$ 76,900
11	CUBIERTA				\$ 4,333,583
11.01	Perfiles Metalicos (9.5 m)	m	66.5	\$ 31,833	\$ 2,116,917
11.02	Teja Master 1000	Unidad	11.67	\$ 190,000	\$ 2,216,667
12	HUERTA ECOLOGICA				\$ 1,260,500
12.01	Huerta Ecologica	Undiad	1	\$ 1,260,500	\$ 1,260,500
SUBTOTAL					\$ 30,636,563
ADMINISTRACIÓN				5%	\$ 1,531,828
IMPREVISTOS				5%	\$ 1,531,828
UTILIDAD				5%	\$ 1,531,828
IVA SOBRE UTILIDAD				19%	\$ 291,047
TOTAL					\$ 35,523,095

PRESUPUESTO VIVIENDA SOSTENIBLE - COMUNIDAD MOCHUELO BAJO, BOGOTÁ D.C - MODELO 2					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	TOTAL
1	PRELIMINARES				\$ 162,500
1.01	Limpieza y Descapote (H=0.25 m)	m²	65	\$ 2,500	\$ 162,500
2	EXCAVACIÓN				\$ 150,716
2.01	Excavación Manual Vigas de Cimentación (H=0.20 m)	m³	3.33	\$ 45,260	\$ 150,716
3	CIMENTACIÓN				\$ 1,372,057
3.01	Construcción Vigas de Cimentación (H=0.20 m) - Incluye Acero y Concreto	m³	3.33	\$ 412,029	\$ 1,372,057
3.02	Placa de Contrapiso (H=0.25 m) - Incluye Acero y Concreto	m²	60.14	\$ 168,286	\$ 10,120,720
4	MAMPOSTERIA				\$ 21,135,612
4.01	Muros Mamposteria Reforzada - Incluye Material, Acero y Concreto	m²	63.66	\$ 40,706	\$ 2,591,344
4.02	Muros Ecologicos Interiores - Incluye Material	m²	32.46	\$ 571,296	\$ 18,544,268
5	VIGAS DE AMARRE				\$ 420,270
5.01	Construcción Vigas de Amarre (H=0.20 m) - Incluye Acero y Concreto	m³	1.02	\$ 412,029	\$ 420,270
6	VENTANERIA				\$ 3,975,400
6.01	Ventanería 2.00 m * 1.90 m (Incluye suministro e instalación)	Unidad	1	\$ 1,115,900	\$ 1,115,900
6.02	Ventanería 1.30 m * 1.90 m (Incluye Suministro e Instalación)	Unidad	5	\$ 571,900	\$ 2,859,500
7	PUERTAS				\$ 1,605,000
7.01	Puerta Exterior 1.0 m * 1.90 m (Incluye suministro e instalación)	Unidad	2	\$ 420,000	\$ 840,000
7.02	Puerta Interior 1.0 m * 1.90 m (Incluye Suministro e Instalación)	Unidad	3	\$ 255,000	\$ 765,000
8	INSTALACIONES ELECTRICAS				\$ 35,883,208
8.01	Punto de Iluminación (Incluye aparato, tubería y mano de obra)	Unidad	8	\$ 129,776	\$ 1,038,208
8.02	Punto de Tomacorriente (Incluye aparato, tubería y mano de obra)	Unidad	14	\$ 62,500	\$ 875,000
8.03	Punto de Interruptor (Incluye aparato, tubería y mano de obra)	Unidad	8	\$ 45,000	\$ 360,000
8.04	Tablero de Distribución * 3 Circuitos (Incluye aparato, tubería y mano de obra)	Unidad	1	\$ 350,000	\$ 350,000
8.05	Sistema de Panel Solar (Incluye suministro e instalación)	Global	1	\$ 33,260,000	\$ 33,260,000
9	INSTALACIONES HIDROSANITARIAS Y GAS				\$ 3,807,220
9.01	Punto de suministro de agua potable (Tubería y mano de obra)	Unidad	6	\$ 122,350	\$ 734,100
9.02	Punto de suministro de agua caliente (Tubería y mano de obra)	Unidad	2	\$ 135,620	\$ 271,240
9.03	Punto de suministro de desagüe (Tubería y mano de obra)	Unidad	6	\$ 225,470	\$ 1,352,820
9.04	Punto de suministro de gas (Tubería y mano de obra)	Unidad	2	\$ 115,230	\$ 230,460
9.05	Sanitario ahorrador y lavamanos (Incluye accesorio e instalación)	Unidad	1	\$ 638,800	\$ 638,800
9.06	Calentador (Incluye accesorio e instalación)	Unidad	1	\$ 579,800	\$ 579,800
9.07	Lavaplatos (Incluye accesorio e instalación)	Unidad	1	\$ 191,900	\$ 191,900
10	INSTALACIONES DE AGUA LLUVIA Y RECOLECCIÓN				\$ 7,497,567
10.01	Punto de distribución (Tubería y mano de obra)	Unidad	4	\$ 122,350	\$ 489,400
10.02	Tanque de almacenamiento de 2000 L (Incluye transporte)	Unidad	2	\$ 761,880	\$ 1,523,760
10.03	Canaleta PVC (Incluye suministro y mano de obra)	m	6.8	\$ 24,633	\$ 167,507
10.04	Bajante de Aguas Lluvias (Incluye suministro y mano de obra)	m	3.00	\$ 25,633	\$ 76,900
10.05	Sistema de Tratamiento de Aguas Lluvias	Global	1.00	\$ 5,240,000	\$ 5,240,000
11	CUBIERTA				\$ 4,333,583
11.01	Perfiles Metalicos (9.5 m)	m	66.5	\$ 31,833	\$ 2,116,917
11.02	Teja Master 1000	Unidad	11.67	\$ 190,000	\$ 2,216,667
12	HUERTA ECOLOGICA				\$ 1,260,500
12.01	Huerta Ecologica	Undiad	1	\$ 1,260,500	\$ 1,260,500
SUBTOTAL					\$ 81,603,632
ADMINISTRACIÓN				5%	\$ 4,080,182
IMPREVISTOS				5%	\$ 4,080,182
UTILIDAD				5%	\$ 4,080,182
IVA SOBRE UTILIDAD				19%	\$ 775,235
TOTAL					\$ 94,619,411



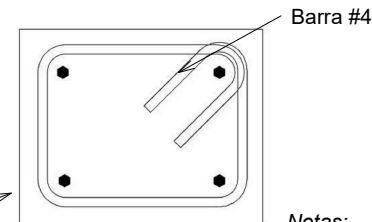


① 0. Nivel - 0.45
1 : 50



Estribo #3 c/0.10 m

Detalle General Vigas de Cimentación



Barra #4

Notas:
Acero - F_y 420 Mpa
Concreto - F'_c 21 Mpa



UNIVERSIDAD CATOLICA DE
COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

PROYECTO:
TRABAJO DE GRADO - PROTOTIPO
DE VIVIENDA SOSTENIBLE BAJO
METODOLOGIA BIM

LOCALIZACIÓN:



DOCENTE ASESOR:
ING. ABRAHAM RUIZ VASQUEZ

POR:

LUIS CARLOS DUCUARA 507051
FABIAN MARTÍN ALVAREZ 506790

OBSERVACIONES:

Todas las unidades de medida son en metros,
a menos que se especifique lo contrario.

CONTIENE:

ES - Cimentación - Nivel
-0.45

ESCALA: 1 : 50

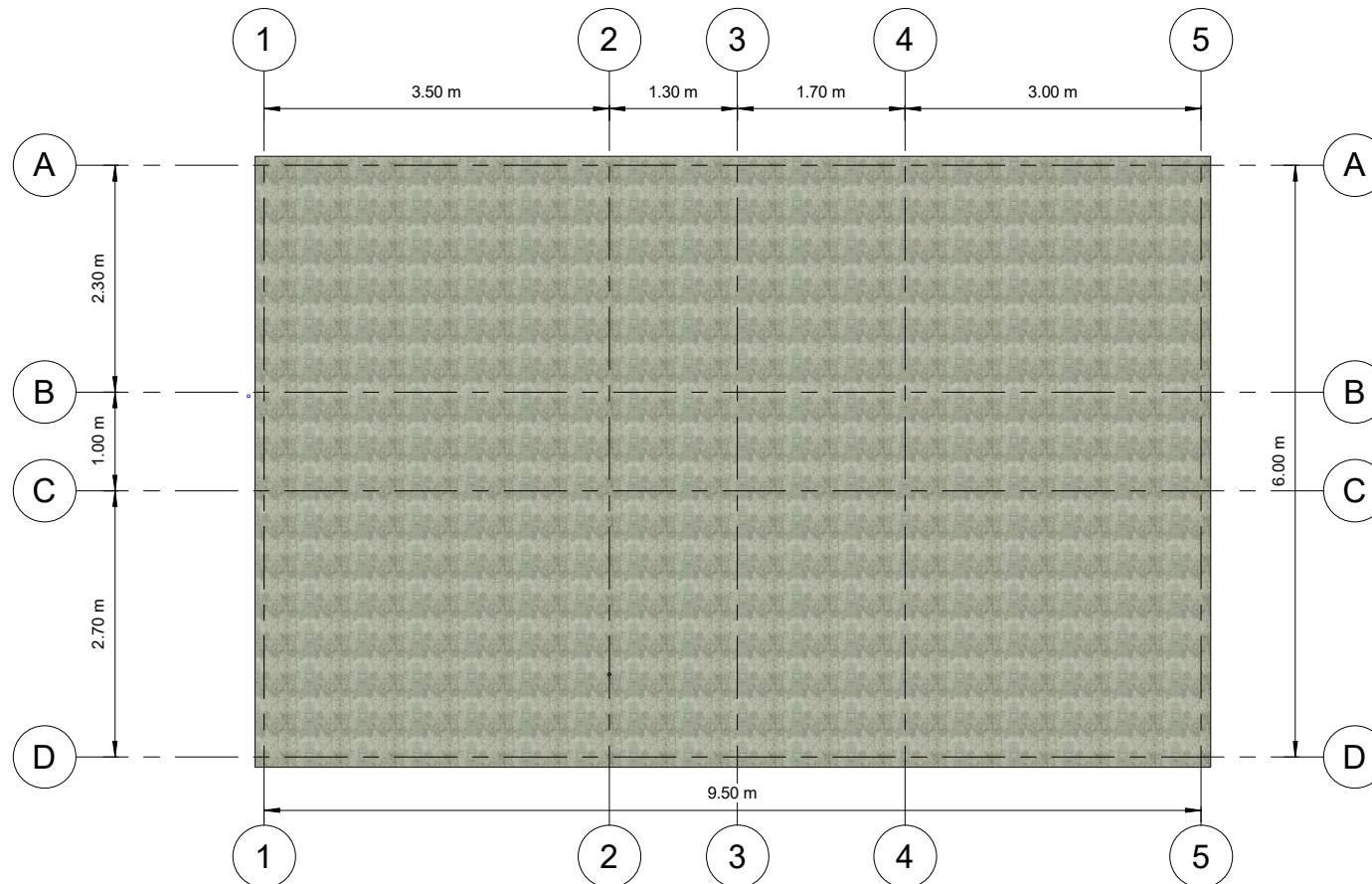
ARCHIVO:
Documentos/ Trabajo de Grado/ Vivienda
Sostenible

DIBUJO:
GRUPO DE ESTUDIANTES

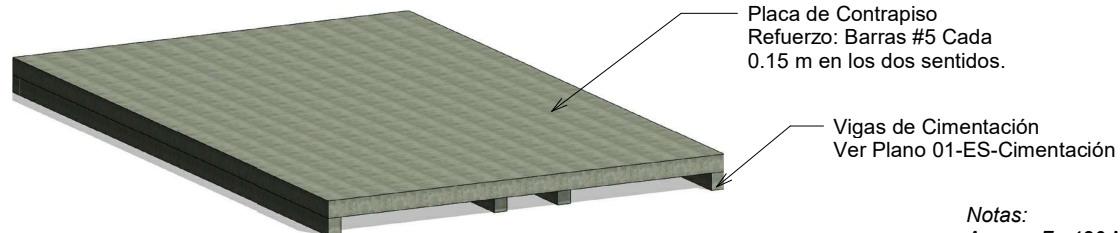
ELABORACIÓN:
05 DE MAYO DE 2021

REVISIÓN: 01

PLANO NO:
01



1. Nivel - 0.00 - Placa de Contrapiso
1 : 50



Placa de Contrapiso
Refuerzo: Barras #5 Cada
0.15 m en los dos sentidos.

Vigas de Cimentación
Ver Plano 01-ES-Cimentación

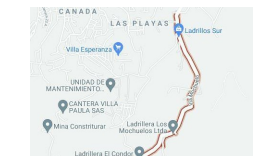
Notas:
Acero - F_y 420 Mpa
Concreto - F'_c 21 Mpa



UNIVERSIDAD CATOLICA DE
COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

PROYECTO:
TRABAJO DE GRADO - PROTOTIPO
DE VIVIENDA SOSTENIBLE BAJO
METODOLOGIA BIM

LOCALIZACIÓN:



DOCENTE ASESOR:
ING. ABRAHAM RUIZ VASQUEZ

POR:

LUIS CARLOS DUCUARA 507051
FABIAN MARTÍN ALVAREZ 506790

OBSERVACIONES:

Todas las unidades de medida son en metros,
a menos que se especifique lo contrario.

CONTIENE:

ES - Placa de Contrapiso -
Nivel 0.00

ESCALA: 1 : 50

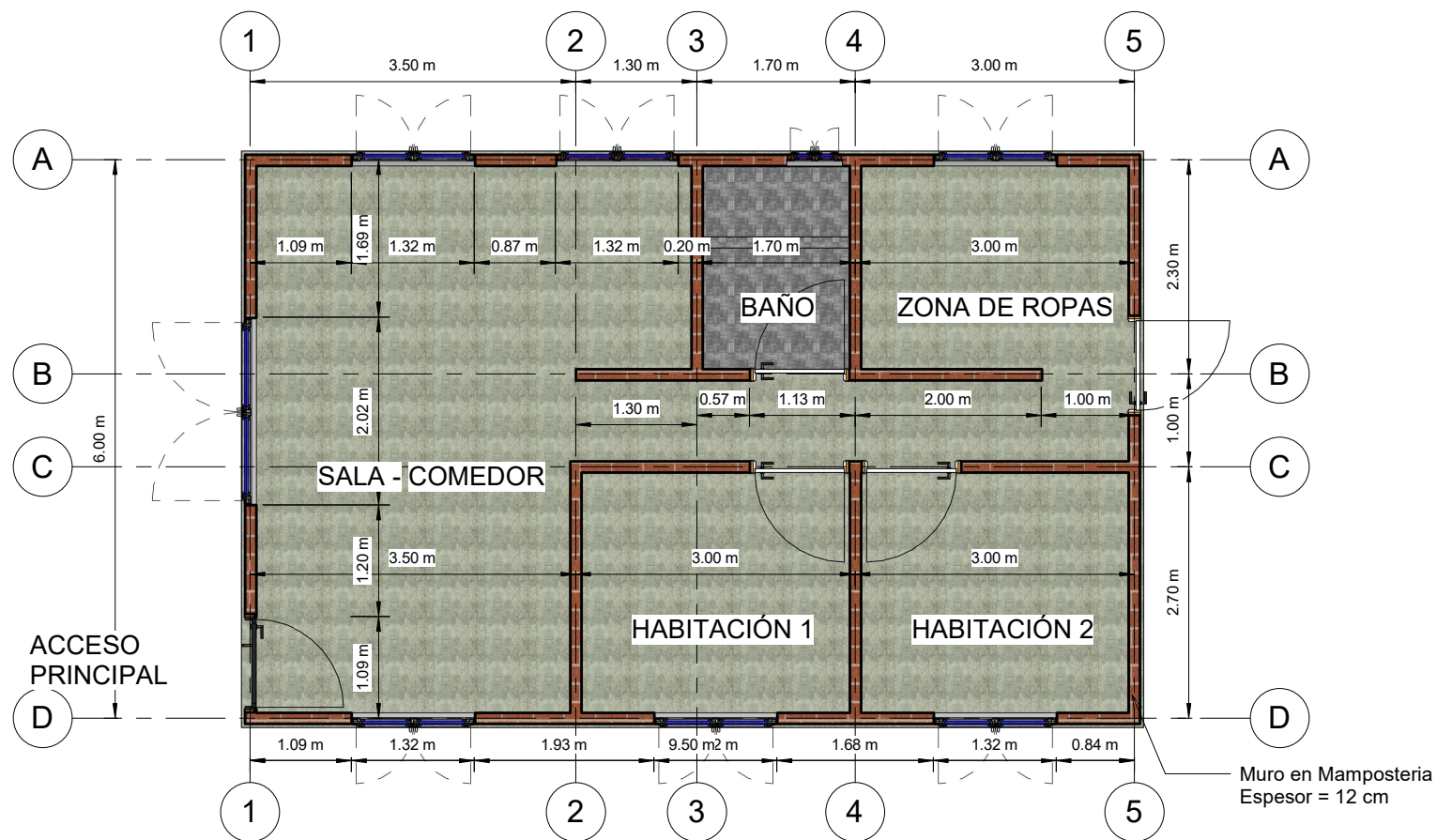
ARCHIVO:
Documentos/ Trabajo de Grado/ Vivienda
Sostenible

DIBUJÓ:
GRUPO DE ESTUDIANTES

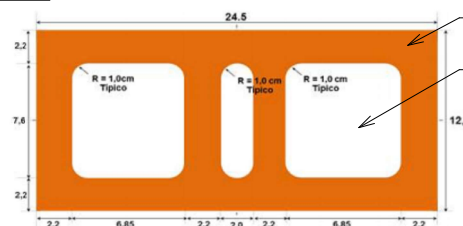
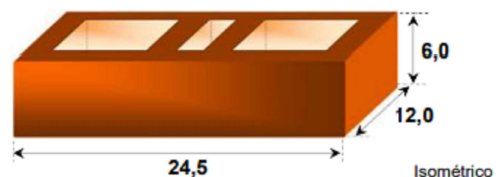
ELABORACIÓN:
05 DE MAYO DE 2021

REVISIÓN: 01

PLANO NO:
02



1. Nivel - 0.00
1 : 50



Especificación Ladrillo Estructural

Celda Rellena Cada 0.80 m
Refuerzo 1#4

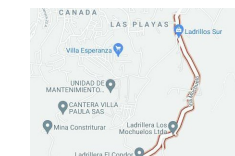
Notas:
Acero - F_y 420 Mpa
Mortero de Relleno - F_c 17.5 Mpa



UNIVERSIDAD CATOLICA DE
COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

PROYECTO:
TRABAJO DE GRADO - PROTOTIPO
DE VIVIENDA SOSTENIBLE BAJO
METODOLOGIA BIM

LOCALIZACIÓN:



DOCENTE ASESOR:
ING. ABRAHAM RUIZ VASQUEZ

POR:

LUIS CARLOS DUCUARA 507051
FABIAN MARTÍN ALVAREZ 506790

OBSERVACIONES:

Todas las unidades de medida son en metros,
a menos que se especifique lo contrario.

CONTIENE:

AR - Planta General - Nivel 1

ESCALA: 1 : 50

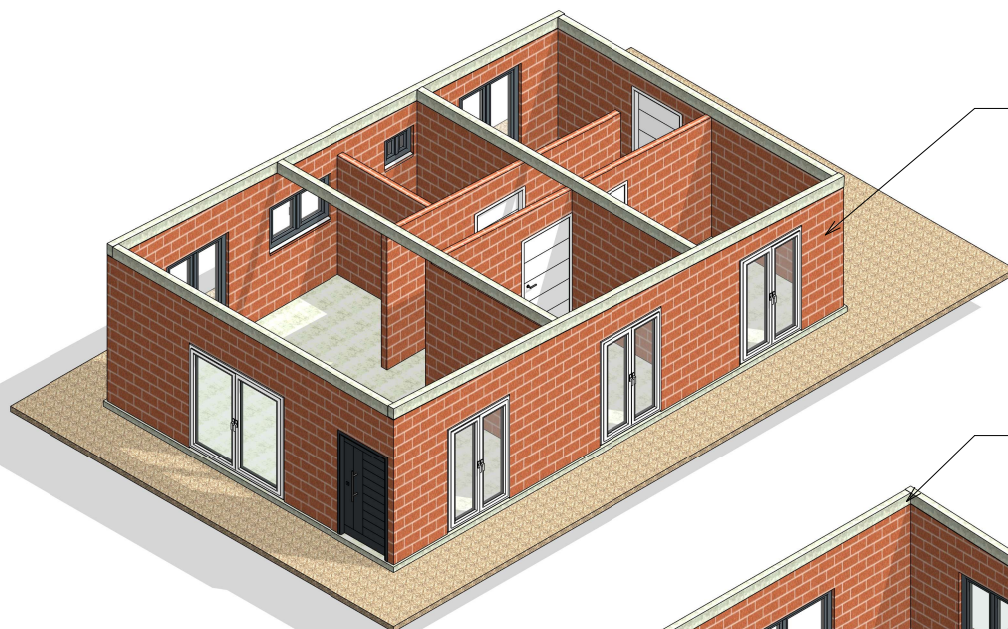
ARCHIVO:
Documentos/ Trabajo de Grado/ Vivienda
Sostenible

DIBUJO:
GRUPO DE ESTUDIANTES

ELABORACIÓN:
05 DE MAYO DE 2021

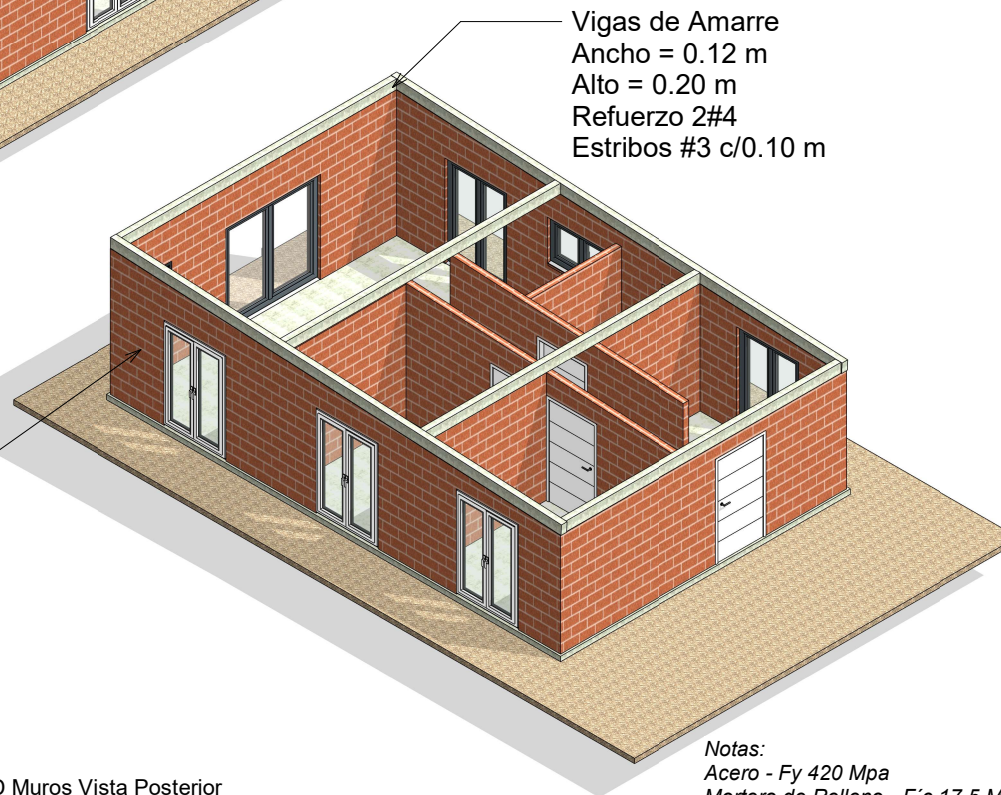
REVISIÓN: 01

PLANO NO:
03



① Vista 3D Muros Vista Frontal

Muro en Mamposteria
Espesor = 12 cm



② Vista 3D Muros Vista Posterior

Celda Rellena Cada 0.80 m
Refuerzo 1#4

Vigas de Amarre
Ancho = 0.12 m
Alto = 0.20 m
Refuerzo 2#4
Estribos #3 c/0.10 m

Notas:
Acero - F_y 420 Mpa
Mortero de Relleno - F_c 17.5 Mpa
Concreto - F_c 21 Mpa



UNIVERSIDAD CATOLICA DE
COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

PROYECTO:
TRABAJO DE GRADO - PROTOTIPO
DE VIVIENDA SOSTENIBLE BAJO
METODOLOGIA BIM

LOCALIZACIÓN:



DOCENTE ASESOR:
ING. ABRAHAM RUIZ VASQUEZ

POR:

LUIS CARLOS DUCUARA 507051
FABIAN MARTÍN ALVAREZ 506790

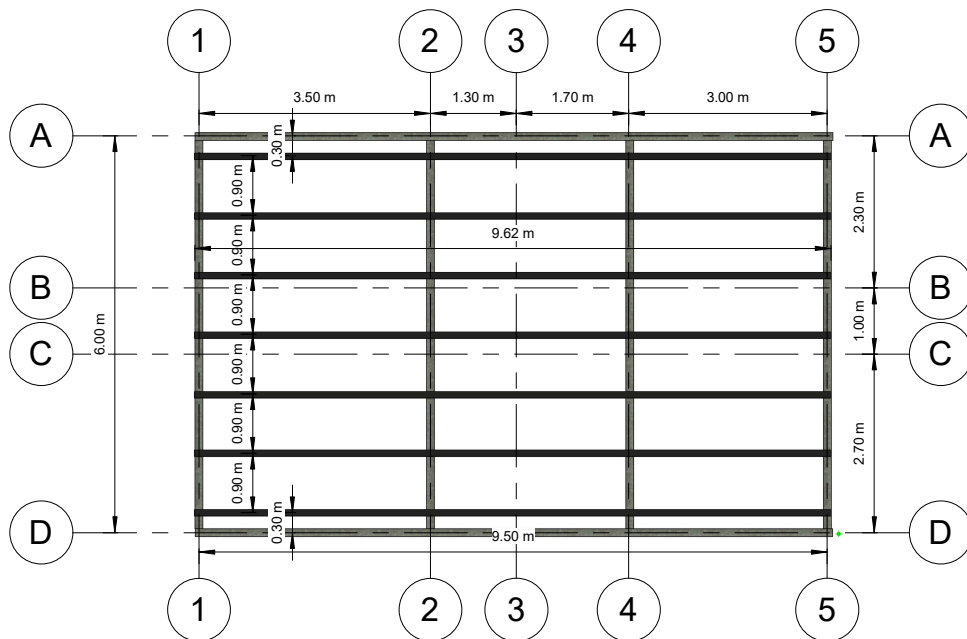
OBSERVACIONES:
Todas las unidades de medida son en metros,
a menos que se especifique lo contrario.

CONTIENE:
AR - Vista 3D Muros en
Mamposteria

ESCALA: ARCHIVO:
Documentos/ Trabajo de Grado/ Vivienda
Sostenible

DIBUJO: ELABORACIÓN:
GRUPO DE ESTUDIANTES 05 DE MAYO DE 2021

REVISIÓN: 01 PLANO NO:
04



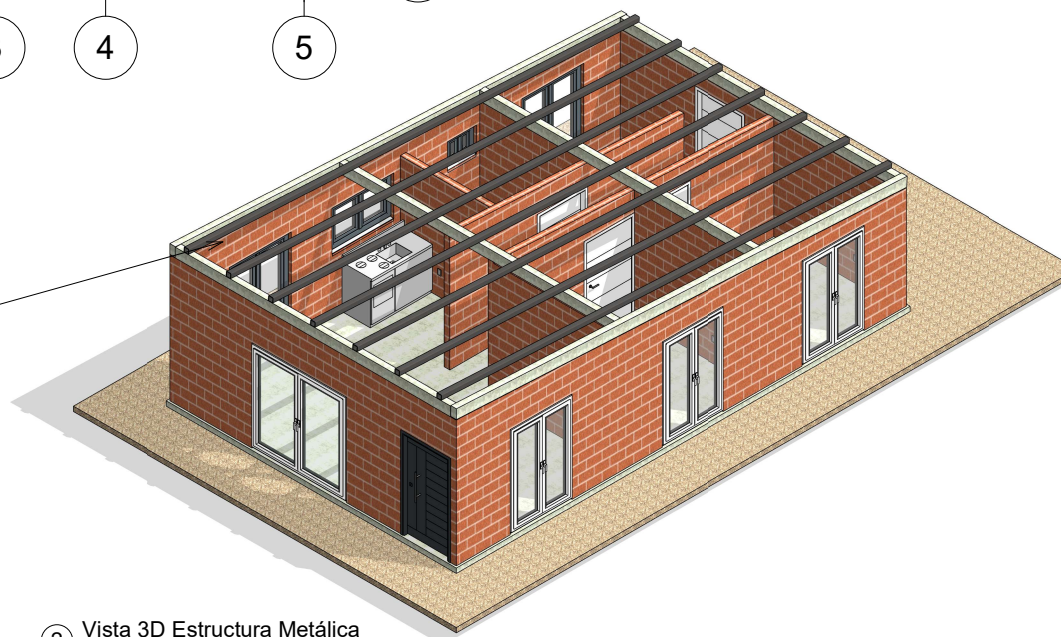
① 2. Nivel + 2.20
1 : 75

Perfil Estructural Cuadrado
100 mm*100 mm*2.5 mm
Acero HR Grado 50

Notas:

* La pendiente de la cubierta es del 7%.

* Aunque no se encuentren modelados, se debe garantizar la estabilidad de la cubierta a partir de la utilización de elementos de fijación a la estructura.



② Vista 3D Estructura Metálica



UNIVERSIDAD CATOLICA DE
COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

PROYECTO:
TRABAJO DE GRADO - PROTOTIPO
DE VIVIENDA SOSTENIBLE BAJO
METODOLOGIA BIM

LOCALIZACIÓN:



DOCENTE ASESOR:
ING. ABRAHAM RUIZ VASQUEZ

POR:

LUIS CARLOS DUCUARA 507051
FABIAN MARTÍN ALVAREZ 506790

OBSERVACIONES:

Todas las unidades de medida son en metros,
a menos que se especifique lo contrario.

CONTIENE:

AR - Estructura Metálica de
Cubierta

ESCALA: 1 : 75

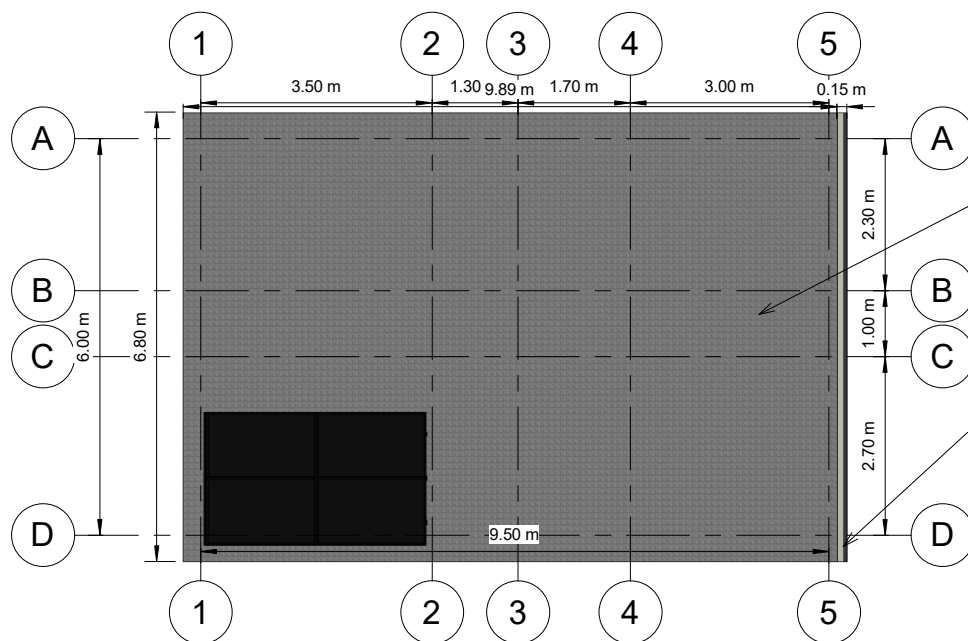
ARCHIVO:
Documentos/ Trabajo de Grado/ Vivienda
Sostenible

DIBUJO:
GRUPO DE ESTUDIANTES

ELABORACIÓN:
05 DE MAYO DE 2021

REVISIÓN: 01

PLANO NO:
05



Notas:
 * La pendiente de la cubierta es del 7%.
 * Aunque no se encuentren modelados, se debe garantizar la estabilidad de la cubierta a partir de la utilización de elementos de fijación a la estructura.

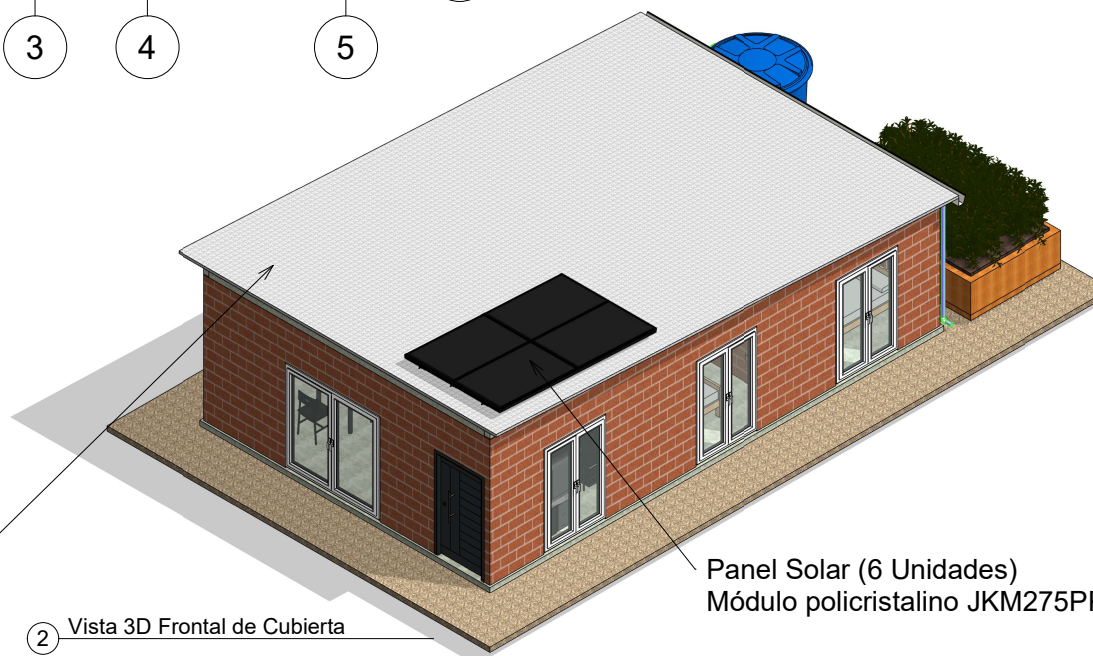
Pendiente del 7%

Canal Amazona PVC PAVCO

① 3. Nivel + 2.70
1 : 75



Lamina ACESCO Master 1000



② Vista 3D Frontal de Cubierta



UNIVERSIDAD CATOLICA DE
COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

PROYECTO:
TRABAJO DE GRADO - PROTOTIPO
DE VIVIENDA SOSTENIBLE BAJO
METODOLOGIA BIM

LOCALIZACIÓN:



DOCENTE ASESOR:
ING. ABRAHAM RUIZ VASQUEZ

POR:

LUIS CARLOS DUCUARA 507051
FABIAN MARTÍN ALVAREZ 506790

OBSERVACIONES:
Todas las unidades de medida son en metros,
a menos que se especifique lo contrario.

CONTIENE:
AR - Cubierta - Nivel +2.70

ESCALA: 1 : 75

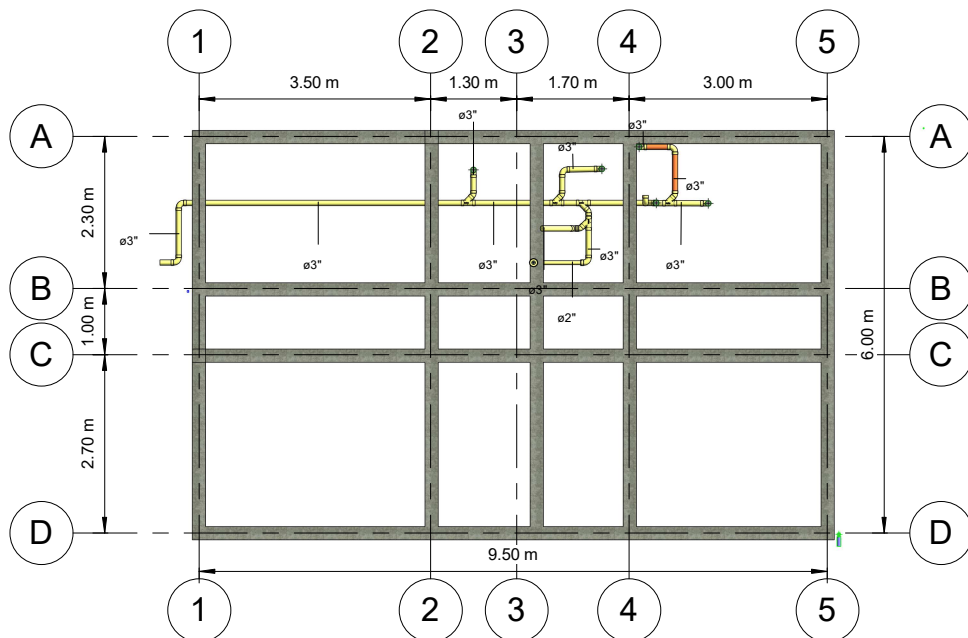
ARCHIVO:
Documentos/ Trabajo de Grado/ Vivienda
Sostenible

DIBUJO:
GRUPO DE ESTUDIANTES

ELABORACIÓN:
05 DE MAYO DE 2021

REVISIÓN: 01

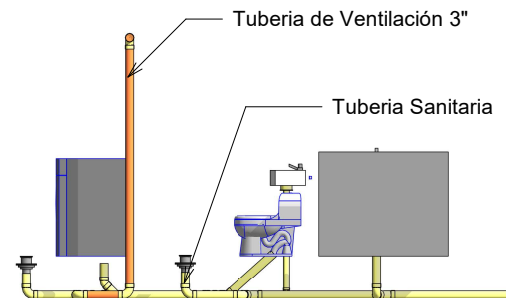
PLANO NO:
06



Notas:

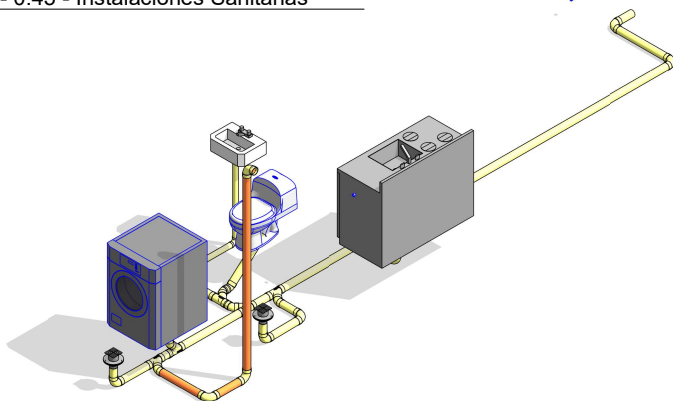
* La pendiente de la red sanitaria es de 1%.

* Para la conexión de la red sanitaria se deberán prever los pases necesarios en las vigas de cimentación

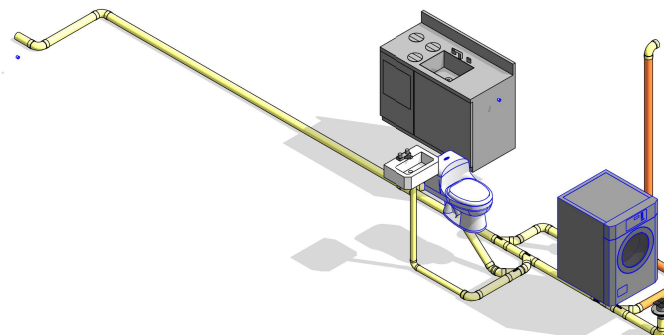


4 Alzado Drenaje Sanitario

1 5. Nivel - 0.45 - Instalaciones Sanitarias
1 : 75



2 Isometrico Drenaje Sanitario



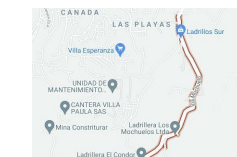
3 Isometrico 2 Drenaje Sanitario



UNIVERSIDAD CATOLICA DE
COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

PROYECTO:
TRABAJO DE GRADO - PROTOTIPO
DE VIVIENDA SOSTENIBLE BAJO
METODOLOGIA BIM

LOCALIZACIÓN:



DOCENTE ASESOR:
ING. ABRAHAM RUIZ VASQUEZ

POR:

LUIS CARLOS DUCUARA 507051
FABIAN MARTÍN ALVAREZ 506790

OBSERVACIONES:

Todas las unidades de medida son en metros,
a menos que se especifique lo contrario.

CONTIENE:

INS - Drenaje Sanitario

ESCALA: 1 : 75

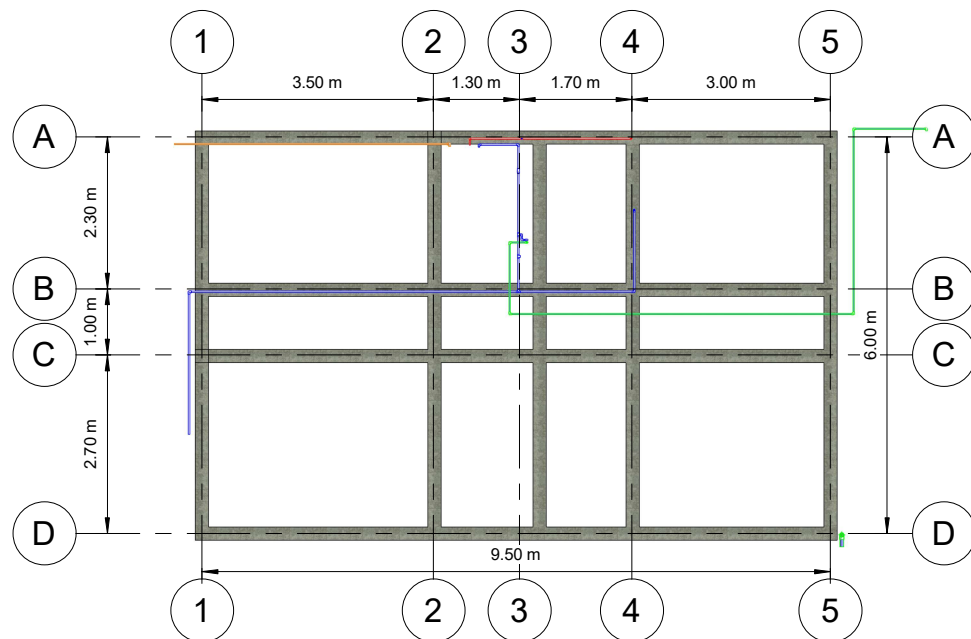
ARCHIVO:
Documentos/ Trabajo de Grado/ Vivienda
Sostenible

DIBUJO:
GRUPO DE ESTUDIANTES

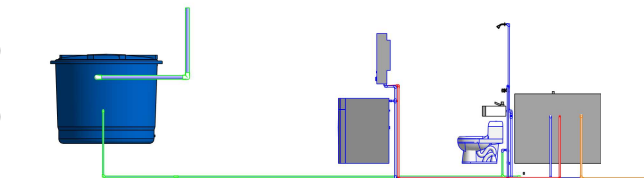
ELABORACIÓN:
05 DE MAYO DE 2021

REVISIÓN: 01

PLANO NO:
07

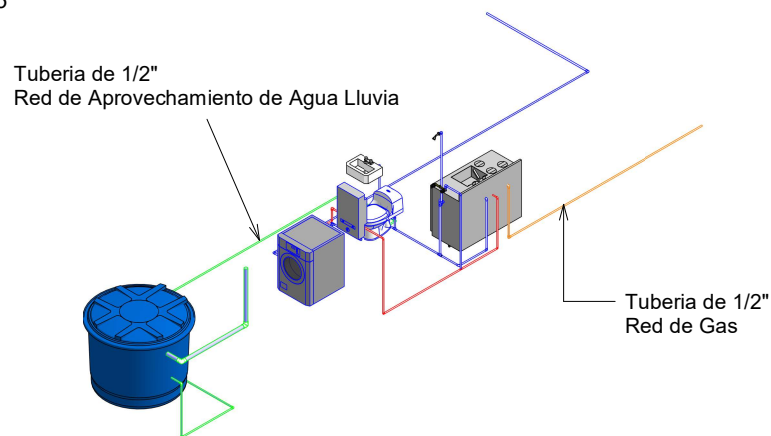


Notas:
Las redes de gas, agua fría y agua caliente se deberán dejar embebidas dentro de la placa de contrapiso.

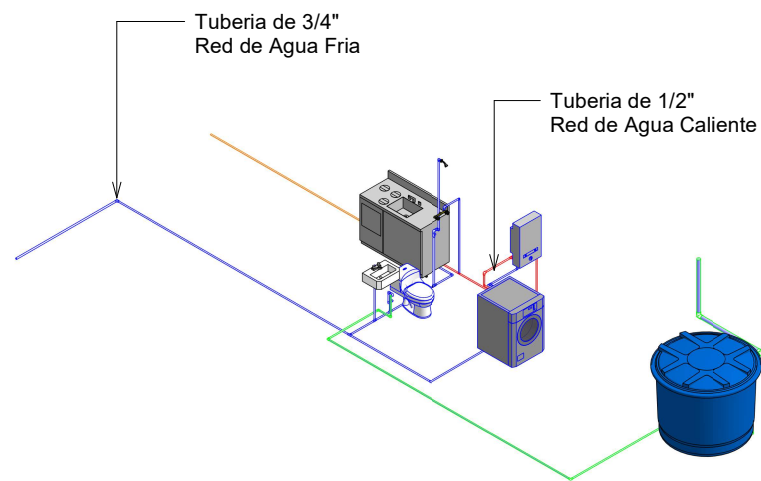


④ Alzado Instalaciones Hidraulicas y Gas

6. Nivel - 0.00 - Instalaciones Hidraulicas y Gas
① Gas
1 : 75



② Isometrico Instalaciones Hidraulicas y Gas



③ Isometrico 2 Instalaciones Hidraulicas y Gas



UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

PROYECTO:
TRABAJO DE GRADO - PROTOTIPO
DE VIVIENDA SOSTENIBLE BAJO
METODOLOGIA BIM

LOCALIZACIÓN:



DOCENTE ASESOR:
ING. ABRAHAM RUIZ VASQUEZ

POR:

LUIS CARLOS DUCUARA 507051
FABIAN MARTÍN ALVAREZ 506790

OBSERVACIONES:
Todas las unidades de medida son en metros,
a menos que se especifique lo contrario.

CONTIENE:
INS - Instalaciones
Hidraulicas y Gas

ESCALA: 1 : 75

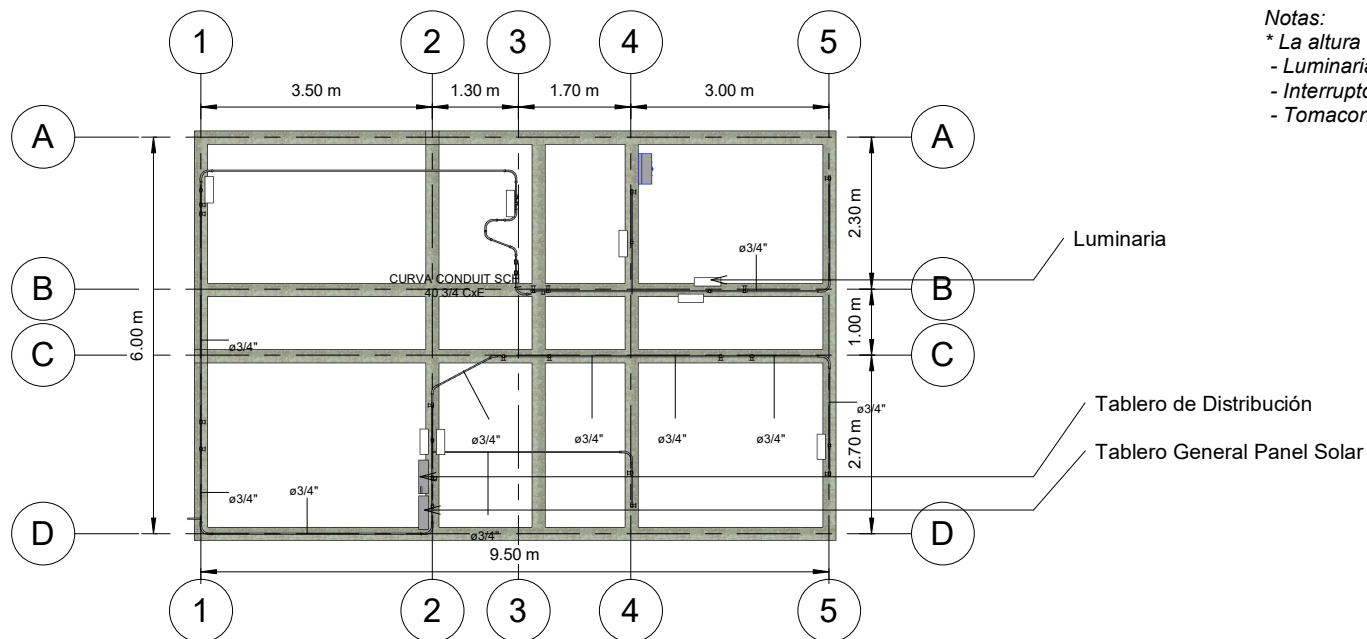
ARCHIVO:
Documentos/ Trabajo de Grado/ Vivienda
Sostenible

DIBUJO:
GRUPO DE ESTUDIANTES

ELABORACIÓN:
05 DE MAYO DE 2021

REVISIÓN: 01

PLANO NO:
08



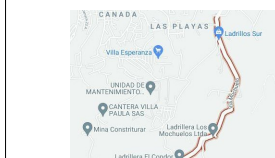
Notas:
 * La altura de los elementos será así:
 - Luminarias - 1.80 m
 - Interruptores - 1.20 m
 - Tomacorrientes - 0.45 m



UNIVERSIDAD CATOLICA DE
COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

PROYECTO:
TRABAJO DE GRADO - PROTOTIPO
DE VIVIENDA SOSTENIBLE BAJO
METODOLOGIA BIM

LOCALIZACIÓN:



DOCENTE ASESOR:
ING. ABRAHAM RUIZ VASQUEZ

POR:

LUIS CARLOS DUCUARA 507051
FABIAN MARTÍN ALVAREZ 506790

OBSERVACIONES:
Todas las unidades de medida son en metros,
a menos que se especifique lo contrario.

CONTIENE:
INS - Instalaciones Eléctricas

ESCALA: 1 : 75

ARCHIVO:
Documentos/ Trabajo de Grado/ Vivienda
Sostenible

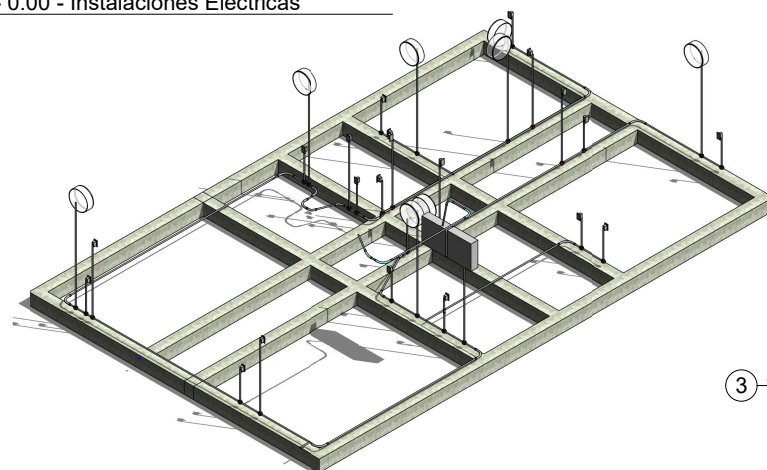
DIBUJO:
GRUPO DE ESTUDIANTES

ELABORACIÓN:
05 DE MAYO DE 2021

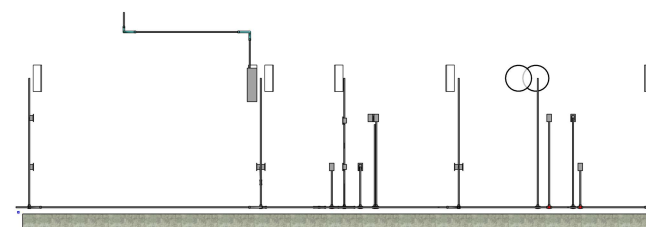
REVISIÓN: 01

PLANO NO:
09

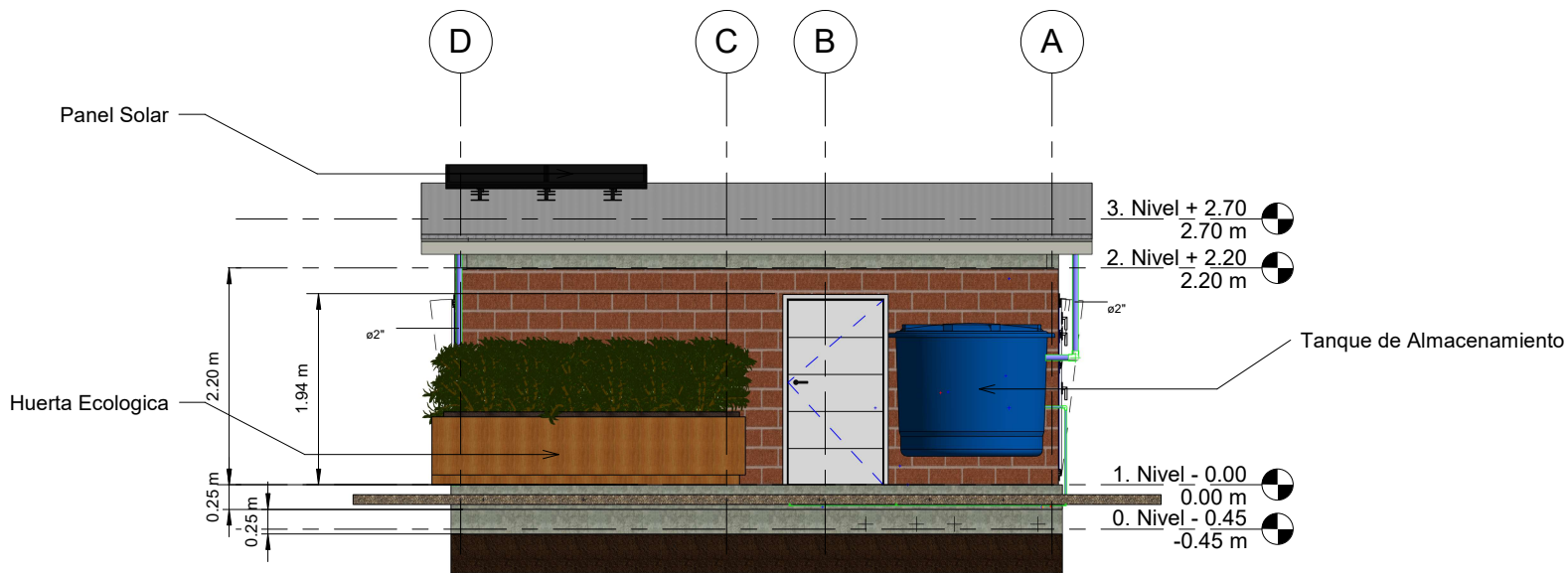
① 7. Nivel - 0.00 - Instalaciones Electricas
1 : 75



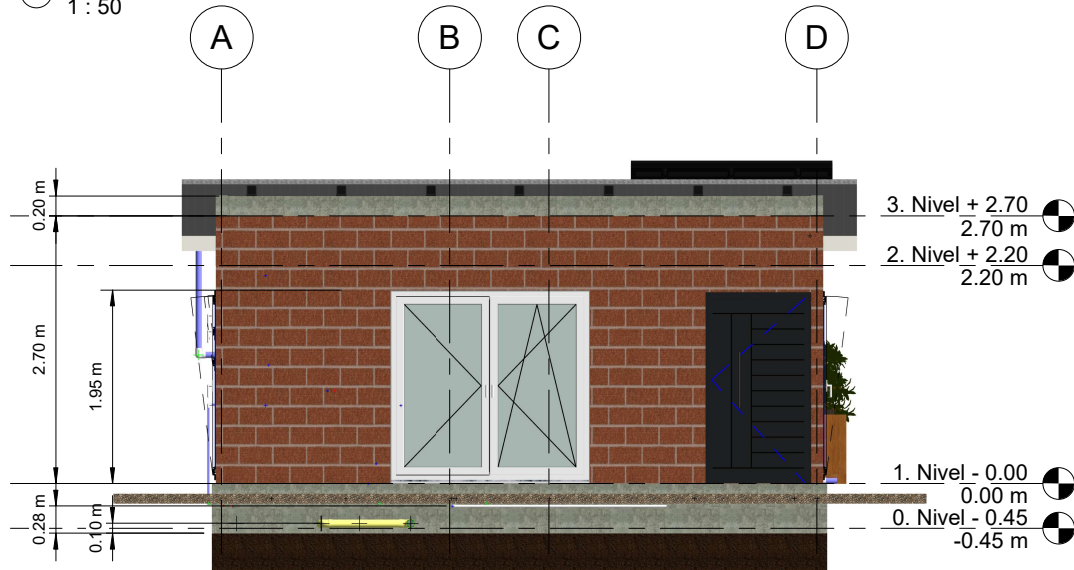
② Isometrico Instalaciones Eléctricas



③ Alzado Sur Instalaciones Electricas



① Alzado Este
1 : 50



② Alzado Oeste
1 : 50



UNIVERSIDAD CATOLICA DE
COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA

PROYECTO:
TRABAJO DE GRADO - PROTOTIPO
DE VIVIENDA SOSTENIBLE BAJO
METODOLOGIA BIM

LOCALIZACIÓN:



DOCENTE ASESOR:
ING. ABRAHAM RUIZ VASQUEZ

POR:

LUIS CARLOS DUCUARA 507051
FABIAN MARTÍN ALVAREZ 506790

OBSERVACIONES:

Todas las unidades de medida son en metros,
a menos que se especifique lo contrario.

CONTIENE:

ALZ - Alzado Este y Oeste

ESCALA: 1 : 50

ARCHIVO:
Documentos/ Trabajo de Grado/ Vivienda
Sostenible

DIBUJO:
GRUPO DE ESTUDIANTES

ELABORACIÓN:
05 DE MAYO DE 2021

REVISIÓN: 01

PLANO NO:
10

